FIR 型ディジタルフィルタプログラマー

ExpWave-FIR
(ver.3)

取扱説明書

岩崎ソフト

http://iwasakisoft.com

作成：2010 年 10 月

ExpWave-FIR の仕様及び本取扱説明書は、改良のため、予告なく変更する場合があります。

・ExpWave-FIR のインストールの方法

ExpWaveFIR(V3.0)Setup.msi　を実行します。

すると、Program Files¥IwasakiSoft¥ExpWaveFIR のホルダに次のファイルが作成されます。

ExpWaveFIR.exe
ExpWaveFIR.chm
FIR_manual.pdf
Rich.ico
RichDoc.ico
使用許諾契約書.rtf
FrSample.txt
PhaseSample.txt
JMAKOBEEW.txt
JMAKOBENS.txt
JMAKOBEUD.txt

デスクトップに
ExpWaveFIR.exe のショートカットが作成されます。

プログラムメニューの ExpWaveFIR ホルダに
ExpWaveFIR.exe のショートカット
FIR_manual.pdf（取説）のショートカットが作成されます。

・ExpWave-FIR のアンインストールの方法

ExpWaveFIR(V3.0)Setup.msi　を再実行します。

目　　次

１．　ExpWave-FIR の特徴 1
①ExpWave-FIR は、プログラマー。 1
②ExpWave-FIR は、波形歪みの無いリアルタイムフィルタが作成できる。 1
③ExpWave-FIR は、フィルタ開発支援機能が充実（シュミレータ機能搭載)。 1
④ExpWave-FIR は、Excel でデータ処理するプログラムを作成する。 1
⑤ExpWave-FIR は、データ処理ソフト。 2
⑥ExpWave-FIR は、地震計、動揺計のフィルタも製作できる。 2
⑦ExpWave-FIR は、リッチテキスト形式の報告書を作成します。 3
２．FIR 型フィルタについて 4
①FIR(Finite Impulse Response)型フィルタとは？ 4
②周波数応答特性 5
③位相直線性とは 5
④群遅延時間 5
⑤「位相直線性」とフィルタの種類 6
⑥因果律を犯さない IIR 型フィルタ 6
⑦因果律を犯すフィルタ 6
⑧各種フィルタの特徴 7
⑨周波数特性の表現方法（利得と位相） 8
⑩位相と群遅延の表現方法 9
３．ExpWave-FIR によるフィルタプログラムの作成 10
①フィルタの選択と作成手順 10
②Low Pass/High Pass フィルタの作成 12
③Trend/Detrend フィルタの作成 12
④Band Pass/Band Reject フィルタの作成 13
⑤Narrow Band Pass / Narrow Band Reject フィルタの作成 15
⑥Single Integral フィルタの作成 15
⑦Double Integral フィルタの作成 15
⑧Single/Double Differential フィルタの作成 16
⑨任意周波数応答（利得）フィルタの作成 18
⑩任意周波数応答（利得＆位相）フィルタの作成 21
⑪気象庁（震度算出用）地震フィルタの作成 23
４．出力アイテムの個別作成 25
①インパルス応答 25
５．データ処理 27
①入力データの読込 27
②試験波の作成 28
③データ表示&番号有無切替 28
④スペクトル解析 28
⑤フィルタリング処理 30
⑥フィルタリング処理例１（震度計算用フィルタ） 30
⑦フィルタリング処理例２（１回積分フイルタ） 31
⑧フィルタリング処理例３（２回積分フイルタ） 32
６．Excel でフィルタリング処理 34

iwasaki-soft.com

７．フィルタリング計算とインパルス応答 **35**
①対称 FIR フィルタリング出力の有効範囲 35
②FFT によるフィルタリングの問題点 35
８．ファイルの保存・読込 **36**
①FIR ファイル 36
②rtf ファイル 36
③txt ファイル 36
④ファイルの保存 36
⑤ファイルの読込 36
索　引 **38**

iwasaki-soft.com

１． ExpWave-FIR の特徴

①ExpWave-FIR は、プログラマー。
ExpWave-FIR は、FIR 型ディジタルフィルタのプログラマーです。ExpWave-FIR を使うと、だれでも高度な FIR 型ディジタルフィルタソースコードを製作することができます。

ソースコードの記述言語は、Visual Basic 言語、C 言語、Fortran 言語です。製作したディジタルフィルタは、パソコンソフト、計測器やワンボードマイコンに組み込むことも可能です。また、DSP を使うと高速なディジタルフィルタが実現できます。

ExpWave-FIR は、ローパス、ハイパス、トレンド、デトレンド、バンドパス、バンドリジェクト、ナローバンドパス、ナローバンドリジェクトの通常のフィルタに加え、ローカット付 1 回積分フィルタ、ローカット付 2 回積分フィルタを作成します。

特に、ローカット付積分フィルタは、リアルタイムに、連続的に積分結果を安定して出力するもので、岩崎ソフトが世界に先駆け独自に開発したものです。さらに、任意の利得と位相を持つ FIR 型フィルタを作成することができます。

②ExpWave-FIR は、波形歪みの無いリアルタイムフィルタが作成できる。
FIR 型は、一般に、リアルタイムの波形歪みの無いフィルタとして用いられます。しかし、計算量が IIR 型より多い問題がありましたが、CPU、DSP の発達で大きな問題ではなくなりました。また、FIR 型は、より次数の高い安定なフィルタの作成が可能なため、急峻なカットオフ特性をもつフィルタの作成が可能です。さらに、ユーザが希望する任意の周波数応答を持つフィルタを製作することが出来ます。このため、オフライン用としても根強い人気が有ります。

③ExpWave-FIR は、フィルタ開発支援機能が充実（シュミレータ機能搭載）。
ExpWave-FIR は、設定したフィルタ定数から周波数特性図を表示（利得、位相、群遅延時間）します。また、作成したフィルタを用いてデータ処理し、その結果の図化機能を有しています。また、フィルタの周波数特性にデータの周波数スペクトルを重ねて図化することも出来ます。

この機能を用いると、テスト用データを一度読み込んでおくと、次のループを容易に繰り返すことができ、短時間で最適フィルタを決めることができます。

フィルタ定数⇒周波数特性図⇒テストデータ処理⇒結果図示

この他に、インパル応答を表示する機能、テスト用正弦波の作成機能をも有しています。

④ExpWave-FIR は、Excel でデータ処理するプログラムを作成する。
出力された Visual Basic のプログラムソースを Excel の【ツール】⇒【マクロ】⇒【Visual Basic Editor】画面に貼り付けるだけで、Excel の Visual Basic を使いフィルタ処理ができます。その結果を Excel の図化機能を用いて図化できます。

iwasakisoft.com

また、ExpWave-FIR がエディタ画面に出力するデータを【コピー】、【貼り付け】で Excel のシートに直接貼り付け、貼り付けたデータを使い、Excel で描画できます。例えば、周波数応答図、インパルス応答図、フィルタリング処理の入出力図等です。

⑤ExpWave-FIR は、データ処理ソフト。

ExpWave-FIR は、データ数 1 万以下のデータをフィルタリング処理するソフトも内蔵しており、処理結果の図を表示すると同時に、エディタ画面に入出力データを出力します。このデータを用いると、Excel で自由な形式で図を作成することが出来ます。

⑥ExpWave-FIR は、地震計、動揺計のフィルタも製作できる。

従来から、計測器において積分を連続的に行うと、累積誤差のため、発散することが知られています。このため、この処理は、オフラインで行われるのが一般的です。この積分手法は、例えば、ローカットフィルタを通過後、積分することが行われています。この場合も、累積誤差が少なくなりますが、長時間すると発散します。また、ドリフト成分を最小二乗法で除き処理することも行われています。
つまり、リアルタイムに、連続的に積分を行い、かつ発散しない手法は、難しい課題とされていました。弊社は、この問題を、ローカット付積分フィルタを開発することで克服しました。

（従来の方法）

（ExpWave-FIR の手法）

ExpWave-FIR は、このローカット付き積分フィルタを製作できます。ローカット付き積分フィルタは、加速度から変位を求める地震計に使ったり、また、振動ジャイロ・光ジャイロの角速度出力を積分し、動揺下で、安定に回転角を求めたりできます。（注：センサー精度によりローカット周波数が変わります。）

ローカット付 1 回積分フィルタは、角速度センサー値を入力した場合、リアルタイムに回転角度を出力します。GPS ナビのトンネル内等の電波断での補正、船舶等浮体、飛行物体の動揺計測に利用できます。角速度センサーとしては、振動ジャイロや光フィバージャイロが使われます。また、姿勢が変わらない加速度センサーからリアルタイムに速度を求めることにも利用できます。（加速度センサーは、その姿勢により重力加速度の影響を受けます。）

ローカット付 2 回積分フィルタは、加速度計センサー値を入力した場合、変動変位をリアルタイムに発散することなく出力し続けることができます。これを用いると、加速度センサーを用いた地震計を容易に製作でき、地震監視システムに応用できます。さらに、3 個の角速度センサーと 3 個の加速度センサーを用いた 6 自由度動揺計の製作にも応用できます。すなわち、角速度センサーから、3 方向の回転角をもとめ、その回転角（姿勢変化）により生じる重力加速度の影響を加速度センサー値から除外した加速度値を用いて、3 方向の変位を求める 6 自由度動揺計です。また、これらは、ゲームの入力機器、カメラの手ぶれ補正にも利用できると思われます。

iwasaki-soft.com

⑦ExpWave-FIR は、リッチテキスト形式の報告書を作成します。
作成した報告書は、Word で直接読み取ることができます。また、ExpWave-FIR 画面からも、プログラムコード、プログラム解説、周波数応答図、周波数応答図データを直接、【コピー】、【貼り付け】で他のソフトに直接貼り付けできます。

本取説では、次の英語の用語を次の用語で表します。

Single integral→１回積分
Double integral→２回積分
Single differential→１回微分
Double differential→２回微分

例えば、Double integral を２重積分と、Double differential を２階微分と呼ぶ人もいますが、分かり易くするため、上記の用語で統一しました。

参　　考
a first order differential equation→１階微分方程式
a second order differential equation→２階微分方程式
１階は、first order、２階は、second order の訳です、

iwasaki-soft.com

2．FIR 型フィルタについて

①FIR(Finite Impulse Response)型フィルタとは？

FIR 型フィルタの最も簡単な例である移動平均フィルタを用いて FIR 型の概念を示します。**図 1** に、フィルタ長 L=3（片側３データ）の移動平均の重み W_i を示します。重み W_i は、次の値となります。

$$W_{-2}=1/5,\quad W_{-1}=1/5,\quad W_0=1/5,\quad W_1=1/5,\quad W_2=1/5 \qquad \cdots\cdot(1)$$

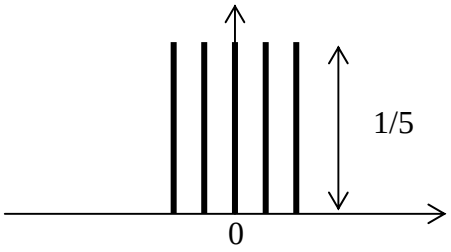


図 1　移動平均の重み例

入力データを X_i とすると、出力 Y_i は、次の計算式となります。

$$Y_i = W_{-2}\cdot X_{i-2} + W_{-1}\cdot X_{i+1} + W_0\cdot X_i + W_1\cdot X_{i+1} + W_2\cdot X_{i+2} = \sum_{k=-2}^{2} W_k\cdot X_{i+k} \qquad \cdots\cdot(2)$$

式(2)から分かるように、出力 Y_i を求めるには、入力 X_{i+2} が必要になります。このため、出力 Y_i が決定するのは、X_i の入力時刻から（L -1）･Δt 時間後となります。ただし、Δt は、サンプリング時間間隔。従って、遅延時間は、（L -1）･Δt となります。

FIR 型フィルタは、フィードバックループがありません。フィルタ長を L（この場合 L=3）とすると、t_i 時刻の入力値 X_i は、（t_i-L）時刻事前と（t_i+L）時刻以後の出力に影響を与えません。従って、入力は、限定された範囲しか影響を与えません。このため、出力は、非常に安定しています。

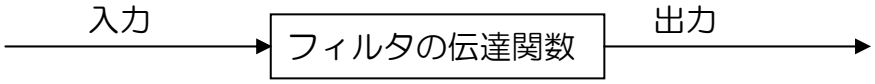


図 2　FIR 型フィルタのブロック線図

インパルス応答 H_i と重み W_i は、0 軸に対して対称な関係にあります。

$$H_i = W_{-i} \qquad \cdots\cdot(3)$$

従って、この場合の、フィルタ出力 Y_i は、インパルス応答を用いると次式で求められます。

$$Y_i = H_2\cdot X_{i-2} + H_1\cdot X_{i-1} + H_0\cdot X_0 + H_{-1}\cdot X_{i+1} + H_{-2}\cdot X_{i+2} = \sum_{k=-2}^{2} H_{-k}\cdot X_{i+k} \qquad \cdots\cdot(4)$$

また、過去と未来に対して対称なインパルス応答を持つ FIR 型フィルタは、波形歪みを伴いません。従って、波形歪みを持たないリアルタイム型フィルタは、FIR 型に限られます。

tsl.iwasaki.co.jp

一般的に、IIR 型フィルタと比べ計算量が多くなります。しかし、FIR 型フィルタ専用の DSP も販売されているので、必ずしも問題とはなりません。

FIR 型フィルタ最大の特徴は、全く任意の周波数応答特性を持つフィルタを作成できることです。また、IIR 型より、急峻なカットオフ特性をもつフィルタも製作できます。

FIR 型フィルタは、フィルタ長を長くすれば、より希望の特性に近づけることができます。しかし、計算量と遅延時間が増えるので、試行錯誤で、フィルタ長を決定します。
ExpWave-FIR は、この繰返作業に迅速に対応できる構造となっています。

②周波数応答特性
ある周波数の振幅 1、位相ゼロのコサイン波をフィルタに入力したとき、出力は、同じ周波数のコサイン波となるが、振幅と位相に変化を受けます。例えば振幅は、A 倍、位相が φ 度ずれる。そして、この A、φ は、利得、位相（位相ずれ）と呼ばれ、入力の周波数により異なる値を持つ。この A、φ を、周波数に対応して表したものが、フィルタの「周波数応答特性」と呼ばれるものです。

③位相直線性とは
今、1 つの有限長の波形 X があったとします。その波形をフィルタに通した結果、その波形と全く同じ波形で L 時間遅れた波形 Y が得られたとします。X と Y は、多くの周波数の波の和で表すことができます。その内の 1 つの波の周波数を F （角周波数を ω）、周期を T とします。
Y の周波数 F の成分の波も、X の周波数 F の成分の波とは、L 時間遅れた波形になっているはずです。これを、位相 φ で表しましょう。周期 T に対し L 時間遅れているので、$\varphi=2\pi(-L/T)$ の式で表現できます。これを、周波数で書き換えると、

$$\varphi(\omega)=2\pi(-L\cdot F)=-L\omega \quad \cdots\cdots \textbf{(5)}$$

と表記できます。これを、縦軸に位相 $\varphi(\omega)$を横軸に周波数 ω を取って図化すると、傾き $-L$ の右下がりの直線が得られます。

すなわち、「**フィルタの特性に位相直線性**」があれば、波形が歪むことなく、フィルタを通すことができます。また、この式から遅延時間が計算できます。

④群遅延時間
一般に、FIR 型フィルタの場合、位相直線性が成立し、遅延時間を表す勾配 L は、全周波数に対して一定です。従って、**式(6)**が成立します。

$$L=-\varphi(\omega)/\omega=-d\varphi(\omega)/d\omega \quad \cdots\cdots \textbf{(6)}$$

一般的には、勾配 L は、角周波数 ω の関数になります。従って、勾配 $L(\omega)$は、次のように表されます。

$$L(\omega)=-d\varphi(\omega)/d\omega \quad \cdots\cdots (7)$$

この $L(\omega)$は、群遅延時間と呼ばれます。$L(\omega)$が直線を示している周波数範囲の波は、波形歪を生じないことを意味します。従って、この値は、波形歪の良否を示す指標でもありま

http://www.iwasaki-soft.com/

す。

⑤「位相直線性」とフィルタの種類

時刻 t の出力値を計算するのに、t 時刻以前と以後のデータを使ってフィルタリング処理をすると、位相直線性を保持することができます。これは、現在のデータ出力値が未来に入手されるデータ値の影響をうけるため、「**因果律を犯すフィルタ**」とも呼ばれます。
これに対し、時刻 t の出力値を計算するのに、t 時刻以前のデータのみを使ってフィルタリング処理をすると、一般的に位相直線性が失われます。このフィルタは、別の呼び方で、「**因果律を犯さないフィルタ**」とも呼ばれます。

⑥因果律を犯さない IIR 型フィルタ

通常、IIR 型フィルタは、このフィルタを指します。このフィルタは、「**電気回路・振動子で作成されたアナログフィルタをデジタル化したもの**」ということもできます。このため、リアルタイム性が高く（出力遅延時間が少ない）、演算が少なく高速処理性を有しています。ワンチップマイコンを組み込んだ、リアルタイム型の計測器等の利用にその特徴が生かせます。

また、電気回路フィルタと比較すると、この IIR 型フィルタは、電気回路では苦手な超低周波（長周期波）対応のフィルタを作成することができる特徴があります。本書では、これを「**IIR 型フィルタによる正方向フィルタリング**」または、「**正方向フィルタリング**」または、「**正方向処理**」と呼びます。

しかし、この **IIR 型フィルタによる正方向フィルタリング**は、完全な位相直線性を確保することが難しいため、必ず波形歪みを伴います。一般に、フィルタの次数を上げると、急な遮断特性が得られますが、直線性は、悪くなります。次数が少ないほど、許容リップル%が低いほど位相直線性が良くなります。また、サンプリング周波数と遮断周波数の関係でもこの直線性が異なります。また、この直線性を見るとき、例えばローパス、ハイパスでは、パスする周波数帯の位相の直線性を見ることが重要です。

⑦因果律を犯すフィルタ

FIR 型は、波形歪みを避けるため、未来からの影響を受けるフィルタを採用し、過去と未来に対して対称形を持つインパルス応答を用います。従って、ほとんどの FIR 型フィルタは、因果律を犯すフィルタといえます。

位相の直線性を持つフィルタと言えば、FIR 型と思われがちです。あまり良く知られていませんが、IIR 型フィルタで位相の直線性を確保する方法があります。これは、正方向のフィルタリング処理に逆方向のフィルタリングを追加するする方法です。このことにより、正方向のフィルタリング処理の位相歪みを消すことができます。

しかし、この処理は、オフラインのデータ処理に限定されます。これは、処理すべき全データの入手後でないと処理が出来ないからです。本書では、これを「**IIR 型フィルタによる双方向フィルタリング**」または、「**双方向フィルタリング**」または、「**双方向処理**」と呼びます。この場合は、位相ずれが完全にゼロになり、波形歪みは生じません。姉妹品 **ExpWave-IIR** は、このフィルタを作成することが出来ます。

http://www.iwasaki-soft.com/

表 1　各種フィルタの比較

種類 / 項目	IIR 型		FIR 型	
	正方向処理	双方向処理	対周波数利得位相設定	予測型
ﾘｱﾙﾀｲﾑ処理	○	×	○	○
ｵﾌﾗｲﾝ処理	△	○	○	○
ﾘｱﾙﾀｲﾑ処理の遅延時間	○ 少ない	ー	△ IIR 型より大	◎ ゼロ
計算量	◎ 少ない	◎ 少ない	△ IIR 型より大	○ 少ない
位相直線性 (無歪みﾌｨﾙﾀ)	×	○	○	×
ﾛｰ、ﾊｲ、ﾊﾞﾝﾄﾞﾊﾟｽﾌｨﾙﾀの作成	○	○	○	×
ﾛｰｶｯﾄ付積分ﾌｨﾙﾀの作成	○	○	○	×
任意周波数特性ﾌｨﾙﾀの作成	×	×	◎	×
計算の安定性 （必要計算精度）	△	△	◎	◎
特徴	機器組込に優位	長いインパルス応答を持つ計算に有利	計測機器の周波数特性補正、単精度でも安定	最小二乗法演算を FIR フィルタ化したもの。
岩崎ソフト対応ソフト	ExpWave-FIR		ExpWave-FIR ExpWave-IIR*2	ExpWave-FCT*1

*1 ExpWave-FCT の FCT は、forcast の意味です。

*2 ExpWave-IIR による FIR 型フィルタの作成は、ExpWave-IIR が作成する IIR 型を FIR 型に変換するする手法で作成するものです。より一般的な FIR 型フィルタの作成（任意の周波数特性を持つフィルタ、フィルタ長の設定、減衰特性の設定など自由に試行出来る）には ExpWave-FIR をお勧めします。

⑧各種フィルタの特徴

表 1 に、各種フィルタの特徴を示します。

iwasakisoft.com

（IIR 型の正方向フィルタ）
このフィルタの最大の利点は、リアルタイム性があり、計算量が少なく高速処理が可能なことです。この利点は、DSP、ワンチップマイコンでの計測器に利用される。ただし、波形に歪みを生じる欠点を持っています。

（IIR 型の双方向フィルタ）
このフィルタの最大の利点は、波形に歪みを生じないで、しかも、FIR 型に比較して、計算量が圧倒的に少ないことです。IIR 型は、通常１つの出力を計算するのに、高々10 回程度の積和計算です。他方、FIR 型は、例えば、ローカット付積分フィルタの場合、片側インパルス応答長 n が 500 データ以上になります。この場合、FIR 型の計算は、**式(12)**参照となり、100 倍の計算が必要になります。
ただし、欠点は、リアルタイム性がないことです。

（対称 FIR 型のフィルタ）
インパルス応答が時刻ゼロ軸に対し、左右対称（鏡面対象）の場合と、時刻ゼロ点に対し、点対称の場合がこれに該当します。このフィルタの最大の利点は、波形に歪みを生じないで、リアルタイム性があることです。ただし、計算量が多くなります。

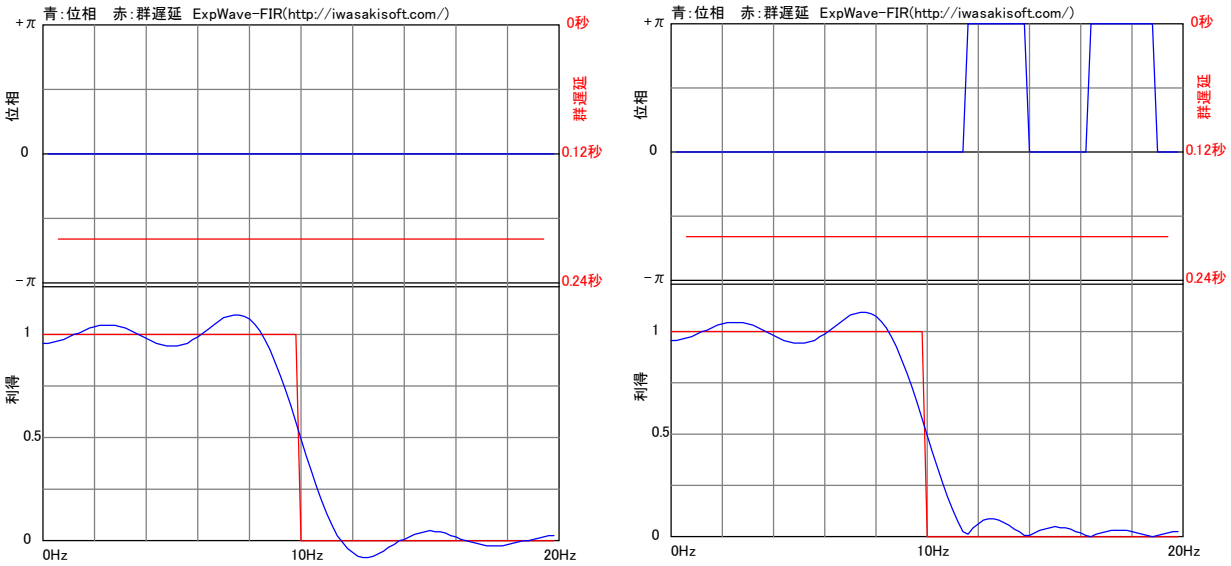
（非対称 FIR 型のフィルタ）
インパルス応答が時刻ゼロ軸と時刻ゼロ点に対し、対称性を持たない場合がこれに該当します。一般に、位相変化を伴う FIR 型フィルタとなります。ただし、0Hz の利得がゼロで、全領域で位相が±９０の整数倍の場合は、点対称性を有するので除外されます。
ExpWave-FIR で任意の利得と位相を持つ FIR 型フィルタを作成すると、この型のフィルタとなります。
また、最小二乗法の予測を FIR フィルタ化したものは、カルマンフィルタの一種ですが、過去のデータのみ使い予測する場合は、インパルス応答が正の時間領域にしか存在しません。このため非対称になります。このプログラムは、姉妹品 ExpWave-FCT（開発予定）で作成されます。

⑨周波数特性の表現方法（利得と位相）
インパルス応答がゼロ時刻に対し対称なフィルタは、次の２通りの解釈ができます。
これは、(1)利得を正負で表す場合と、(2)利得を絶対値（常に正）で表す場合です。**図 3** 参照。

例えば、図に示すフィルタ特性の場合、12Hz の正弦波は、入力と符号が逆の波形になります。(1)の場合は、位相は、変わらないが、利得が負になること考えます。(2)の場合は、利得の符号は、変わらないが、位相が 180 度ずれたと考えます。

利得を絶対値で示すことが一般的な慣わしであるので、(2)の示し方一般的です。本説明書は、(2)の示し方に従います。この現象が生じるのは、ほとんどの場合、遮断領域です。従って、利得が小さいため、位相自体も問題にならない領域です。

iwasaki-soft.com



(1)利得を正負で表す場合　　(2)利得を絶対値で表す場合

図 3　周波数特性の表現方法

⑩位相と群遅延の表現方法

入力波形を *X* とします。その波形 *X* をフィルタに通した結果、その波形と全く同じ波形で *L* 時間遅れた出力波形 *Y* が得られたとします。入力と出力を同じ時間座標で考えると、前述したように、位相が勾配　*-L* で変化します。

しかし、*Y* の時間座標を、*X* の時間座標から *L* 時間遅れた時間座標とすると、*Y* の周波数成分（振幅と位相）は、*X* の周波数成分と完全に一致します。すなわち入力と出力の位相ずれは、ゼロとなります。この様に扱うと、波形が受ける位相変化を忠実に表すことが出来ます。

ExpWave-FIR が周波数特性図で表示する位相は、入力の座標をそのままにして、出力の座標を入力の座標から遅延時間遅らせた座標した場合の、出力の入力に対する位相ずれであることに注意してください。なお、遅延時間は、群遅延時間で図中表示されています。

3．ExpWave-FIR によるフィルタプログラムの作成

一般に、最適ディジタルフィルタの製作は、試行錯誤の繰り返し作業になります。これは、フィルタ長（次数）を大きくすると、より希望の特性に近いフィルタが得られる反面、リアルタイム処理での時間遅れが大きくなります。ExpWave-FIR は、フィルタの周波数応答を図で確認することができます。さらに、試験波のデータを読み込んでおくと、そのスペクトルとフィルタの特性の関係を図で確認でき、希望の特性に対して最適なフィルタを迅速に決定することができます。

①フィルタの選択と作成手順

プログラムを起動すると、リッチテキストエディタ（wordpad と同等）が現れます。ExpWave-FIR により得られる結果は、このエディタ上に表示されます。例えば、プログラムソースリスト、フィルタの周波数応答特性図等です。
【フィルタの作成】メニューを選択すると、**図 4** のように表示されます。ここで、作成したいフィルタを選択します。

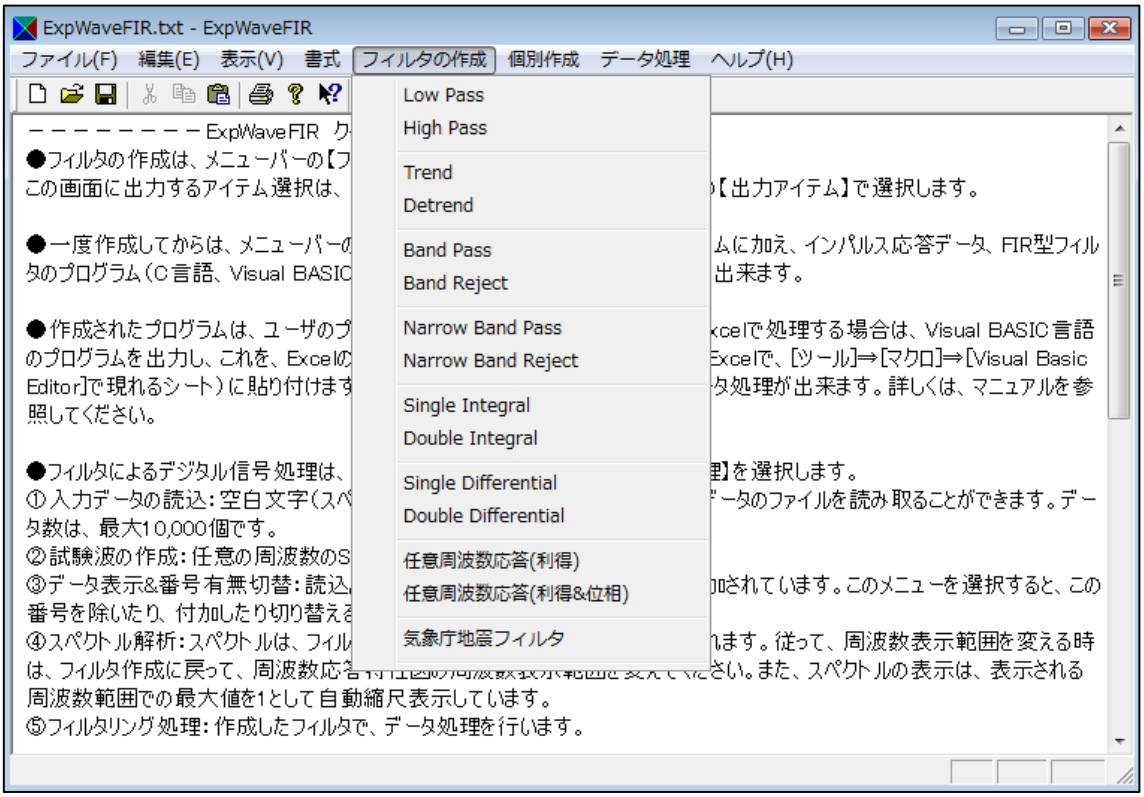


図 4 フィルタの作成 Dialog

フィルタの作成のメニューで例えば Low Pass を選択すると、**図 5** のダイアログが現れます。ここで、【フィルタ長】窓に、フィルタの次数を入れます。**２．①参照。**1～1500 を設定することができます。次に、窓関数を設定します。窓関数はフィルタ特性のサイドローブ（side lobe）を小さくするものです。各種選択し、試すと良いと思います。なお、なしは、窓関数を乗じないことを意味し、矩形窓を意味します。Bartlett は、三角窓です。
表示周波数範囲は、周波数応答グラフの表示範囲です。自動設定をはずすと、任意にセットできます。ただし、ナイキスト周波数（サンプリング周波数／2）以下にします。

tt-iwasaki.com

出力アイテムは、リッチテキストエディタに表示するアイテムで、希望のものを選択します。

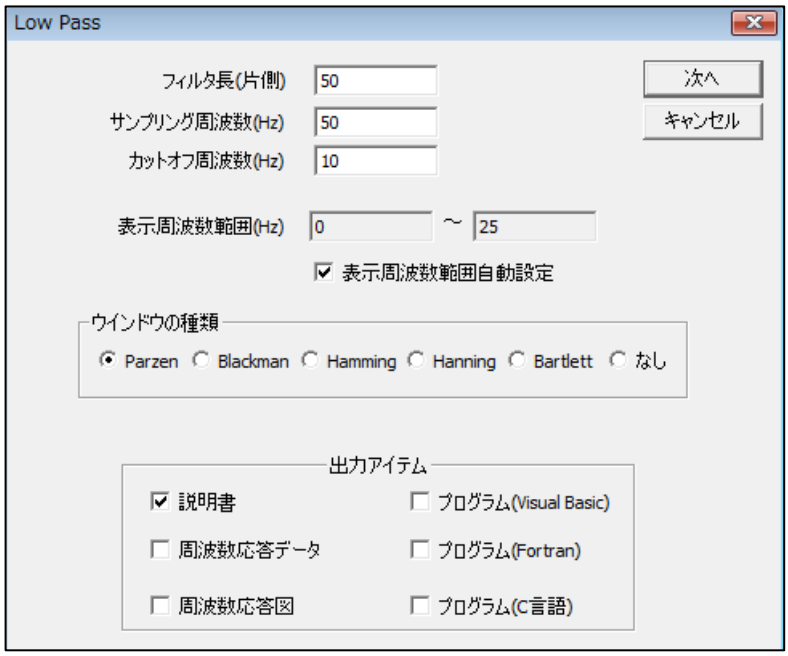


図 5　Low Pass フィルタ作成 Dialog

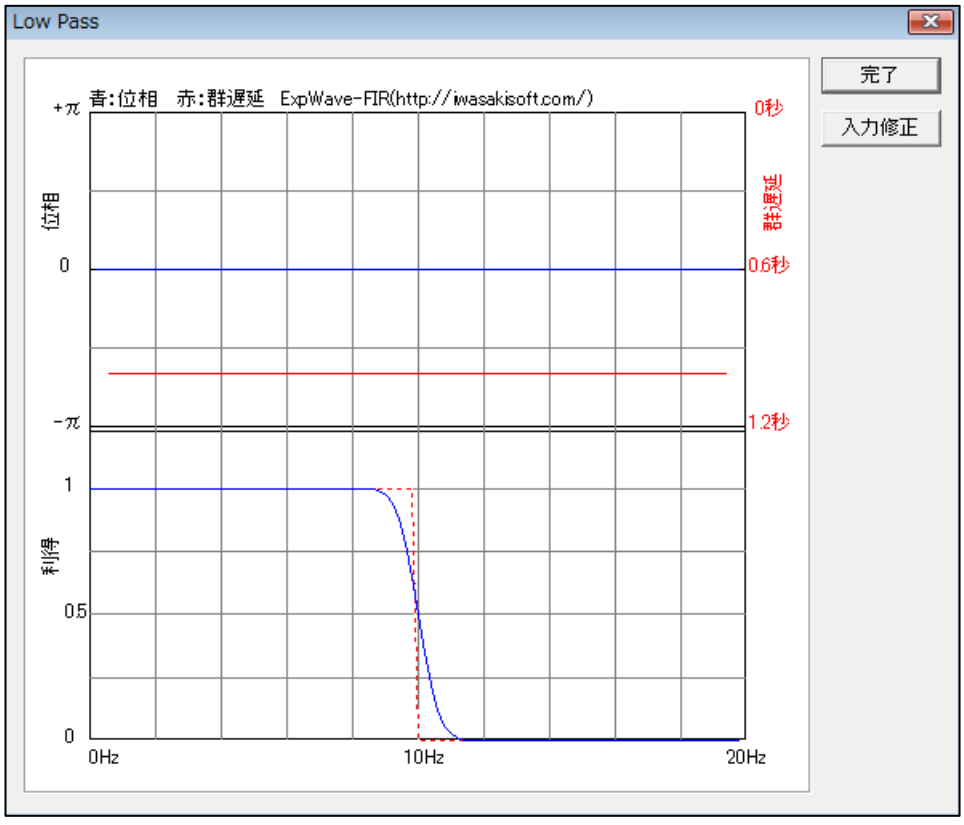


図 6　LowPass フィルタの周波数応答特性

【次へ】ボタンをクリックすると、**図 6** の周波数応答特性図が現れます。ここで、**青色**は、利得と位相、**赤色**は、群遅延を示しています。また、利得図内の、**赤の点線**は、設定した

iwasakisoft.com

希望周波数特性（理想特性）です。なお、位相の表示については、「**２．⑩位相と群遅延の表現方法**」を用いています。

この図を見て、修正する場合は、【入力修正】 ボタンをクリックします。このようにして、設定を完了すると、【完了】ボタンをクリックします。すると、リッチテキストエディタに出力アイテムが書き込まれます。

②Low Pass/High Pass フィルタの作成

フィルタの作成のメニューで Low Pass を選択し、**図 5** の入力ダイアログで入力値を設定し、【次へ】をクリックすると、**図 6** の周波数応答特性図が現れます。これを繰り返して、最適フィルタを見つけます。High Pass も Low Pass フィルタ作成もほとんど同じ操作です。

③Trend/Detrend フィルタの作成

Trend（トレンド）フィルタは、データの超低周波成分を抽出するフィルタです。すなわち、0Hz 近くの周波数成分のみパスするローパスフィルタです。例えば、窓関数をハミングとしたトレンド（ローパス）フィルタが波高データから津波成分の抽出（トレンドの抽出）に使われています。窓関数なしに設定すると単純な矩形の移動平均のフィルタが、Bartlett を選択するといわゆる３角フィルタになります。このような単純なフィルタの応答特性も、ここで知ることが出来ます。なお、これは、**⑤Narrow Band Pass** でカットオフ周波数を 0Hz に設定したものと同等です。

図 7 Trend フィルタの設定 Dialog

Detrend（デトレンド）フィルタは、データの超低周波成分を除去する、いわゆるトレンド除去フィルタです。すなわち、0Hz 近くの周波数成分のみカットするローカットフィルタです。なお、これは、**⑤Narrow Band Reject** ででカットオフ周波数を 0Hz に設定したものと同等です。

図 7 に Trend フィルタ設定ダイアログを示します。**図 8** にこの設定で得られた周波数特性を示します。Detrend も Trend フィルタ作成もほとんど同じ操作ですので、Detrend については省略します。

iwasaki-soft.com

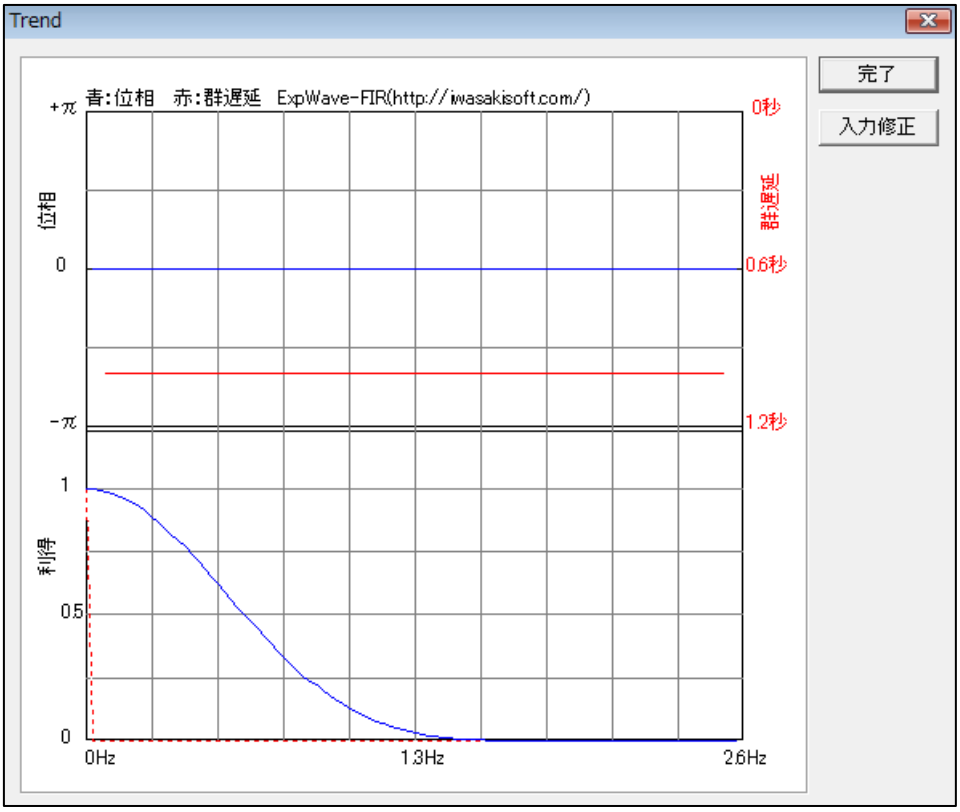


図 8　Trend フィルタの周波数応答特性

④Band Pass/Band Reject フィルタの作成

フィルタの作成のメニューで Band Pass を選択し、**図 9** の入力ダイアログで入力値を設定し、【次へ】をクリックすると、**図 10** の周波数応答特性図が現れます。

この場合、カットオフ周波数を低域側と高域側に個別に設定します。Band Reject も Band Pass フィルタ作成もほとんど同じ操作であるので、Band Reject については省略します。

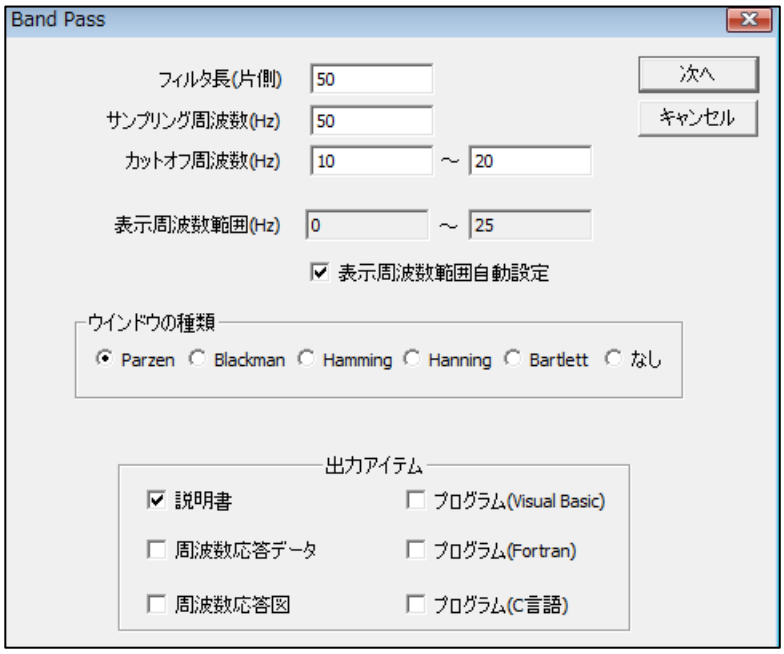


図 9　Band Pass フィルタの設定 Dialog

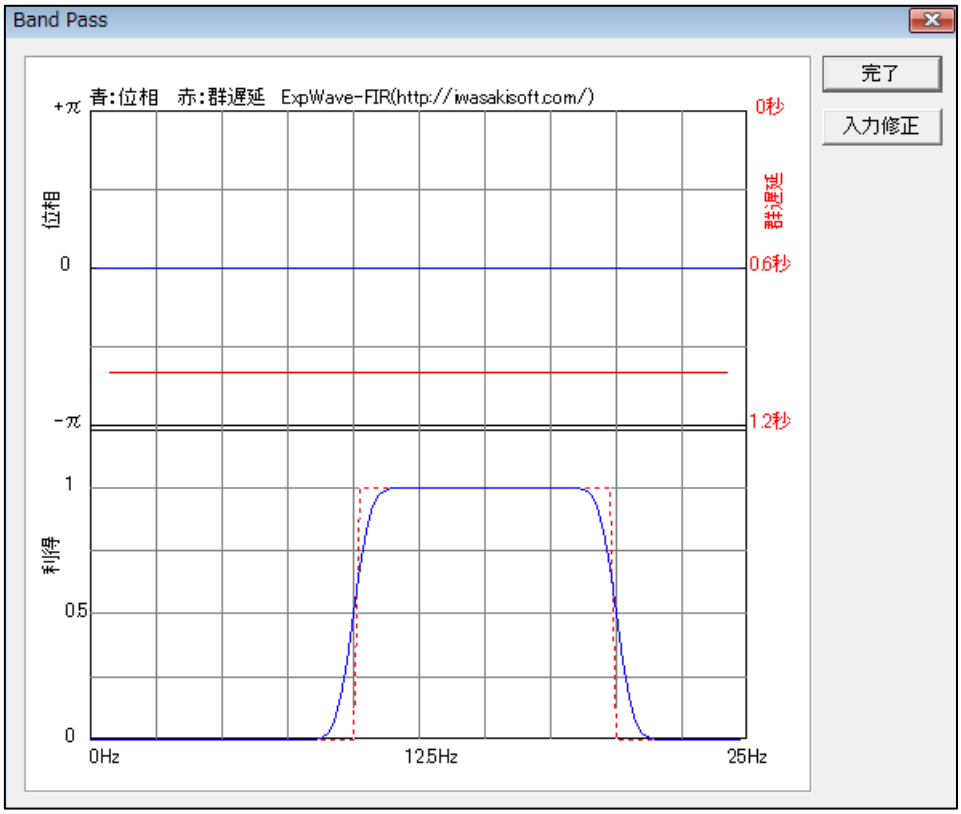


図 10 Band Pass フィルタの周波数特性

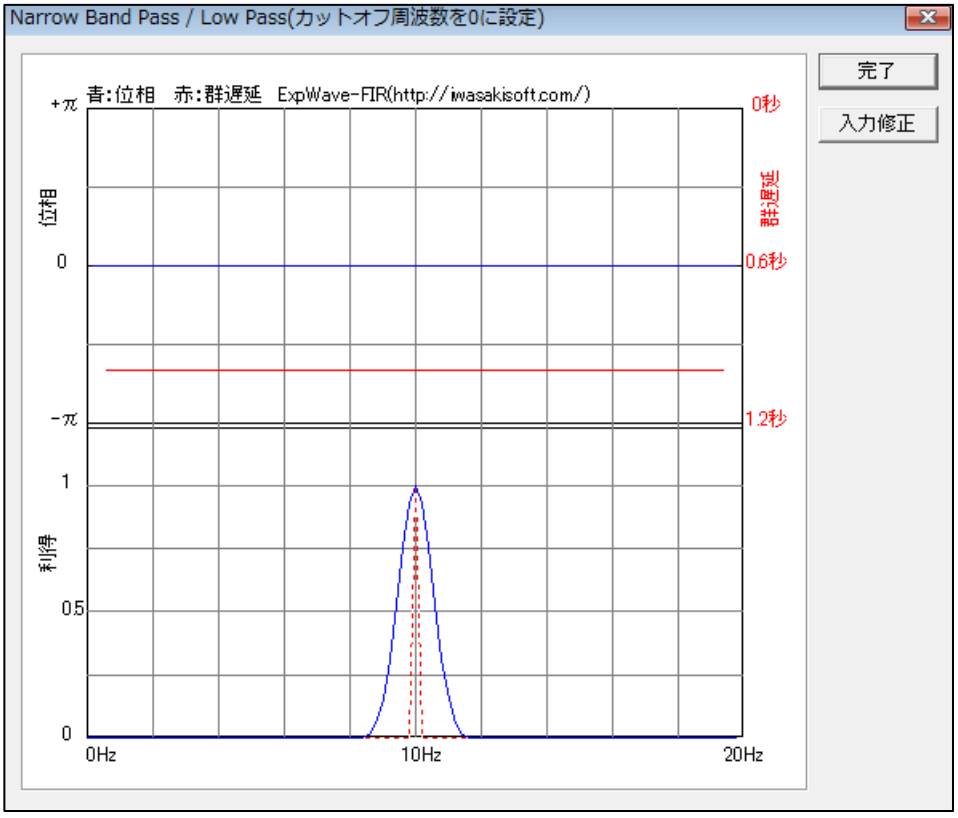


図 11 Narrow Band Pass フィルタの周波数特性

⑤Narrow Band Pass / Narrow Band Reject フィルタの作成

Narrow Band Pass/Narrow Band Reject フィルタ設定 Dialog は、**図 4** と同じです。この場合、この場合のフィルタの周波数応答特性図は、**図 11** の通りです。

⑥Single Integral フィルタの作成

船、自動車などの回転角（回転動揺）を計測する場合、角速度を 1 回積分して求めます。一般に、光ジャイロ、振動ジャイロの角速度計は、船・自動車の 3 方向の加速度に影響されず回転角速度だけの検出が可能です。特に、振動ジャイロは、数万円です。このため、振動ジャイロとローパス付き一回積分フィルタとを組み合わせて、回転動揺の計測に利用されます。この場合のフィルタ設定 Dialog は、**図 4** と同じです。

この場合のフィルタの周波数応答特性図は、**図 12** の通りです。ここで、赤の点線の利得特性は、設定した希望周波数特性（理想特性）です。ある範囲で特性を満足していることが分かります。また、1 回積分すると、位相が 90 度ずれますが、それを満足していることも分かります。一般に、カット周波数が低い程、計測範囲が広くなります。角速度計は、低周波数成分に対し精度が悪くなります。従って、カット周波数の設定は、角速度計の精度によるので、実際の角速度計のデータを用いて試行錯誤で決めるのがいいでしょう。

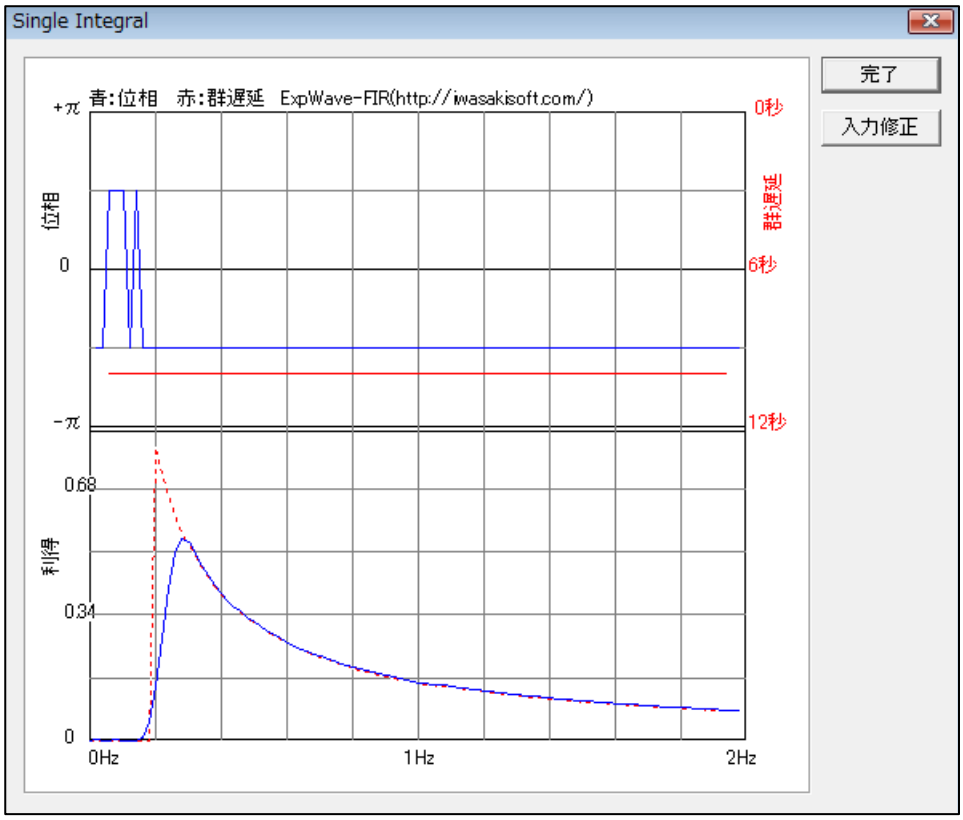


図 12　Single Integral フィルタの周波数特性

⑦Double Integral フィルタの作成

この場合のフィルタ設定 Dialog も、**図 4** と同じです。この場合のフィルタの周波数応答特性図は、**図 13** の通りです。ここで、赤の点線の利得特性は、設定した希望周波数特性（理想特性）です。ある範囲で特性を満足していることが分かります。また、2 回積分すると、位相が 180 度ずれますが、それを満足していることが分かります。一般に、カット周波数が低い程、計測範囲が広くなります。しかし、加速度計は、低周波数成分に対し精度が悪

iwasakisoft.com

くなります。従って、加速度を 2 回積分して変位を求める場合のカット周波数の設定は、加速度計の精度によるので、実際の加速度計のデータを用いて試行錯誤で決めるのがいいでしょう。

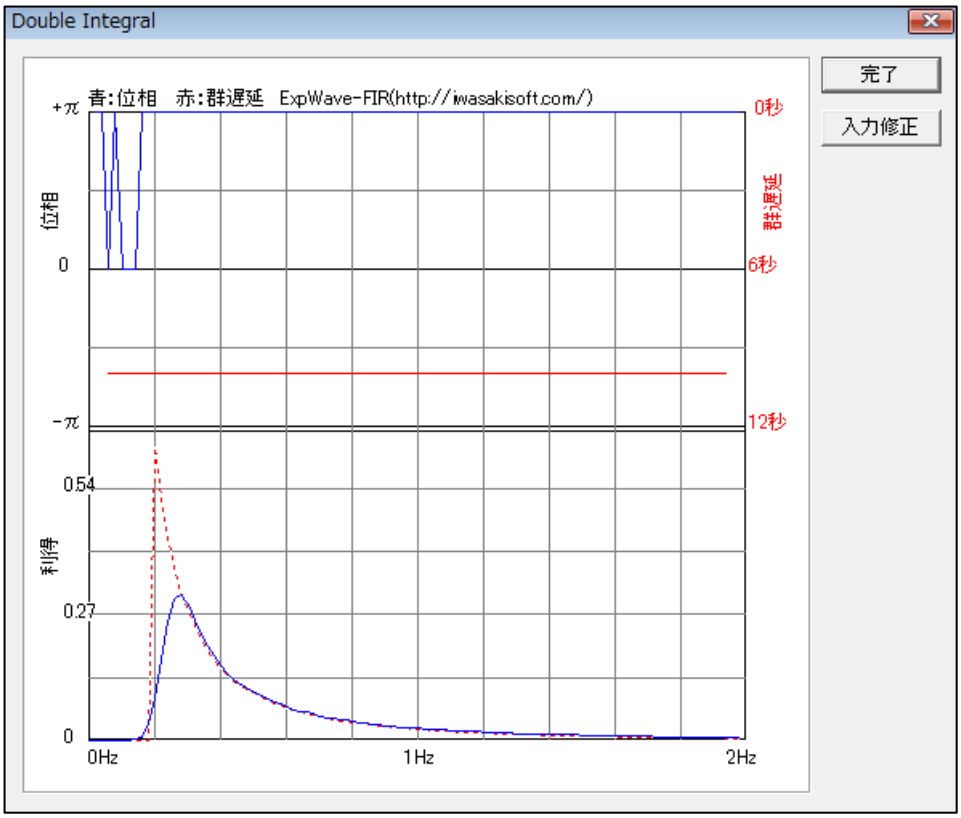


図 13 Double Integral フィルタの周波数特性

⑧Single/Double Differential フィルタの作成

これで作成されるフィルタは、高域カット特性をもつ 1 回／2回微分フィルタです。この場合のフィルタ設定 Dialog も、**図 4** と同じです。これで求めた１回微分の例を**図 14**、**図 15** に示します。どちらもサンプリング周波数は、50Hz です。**図 14** は、フィルタ長を 50 にした場合で、**図 15** は、フィルタ長を 2 にした場合です。フィルタ長を 2 以下に設定すると、多項式近似で求められた**式(8)**、3 に設定すると**式(9)**によるフィルタとなります。

$$Z_n = \frac{1}{12\Delta t}\left(Y_{n-2} - 8Y_{n-1} + 8Y_{n+1} - Y_{n+2}\right) \cdots \textbf{(8)}$$

$$Z_n = \frac{1}{360\Delta t}\left(-6Y_{n-3} + 54Y_{n-2} - 270Y_{n-1} + 270Y_{n+1} - 54Y_{n+2} + 6Y_{n+3}\right) \quad \cdots \textbf{(9)}$$

また、2 回微分で、フィルタ長を 2 以下に設定すると、**式(10)**、3 に設定すると**式(11)**によるフィルタとなります。**図 16** は、2 の場合のフィルタの周波数特性を示す。

$$Z_n = \frac{1}{12\cdot\Delta t^2}\left(-Y_{n-2} + 16Y_{n-1} - 30Y_n + 16Y_{n+1} - Y_{n+2}\right) \quad \cdots \textbf{(10)}$$

$$Z_n = \frac{1}{360\cdot\Delta t^2}\left(4Y_{n-3} - 54Y_{n-2} + 540Y_{n-1} - 980Y_n + 540Y_{n+1} - 54Y_{n+2} + 4Y_{n+3}\right) \cdots \textbf{(11)}$$

iwasakisoft.com

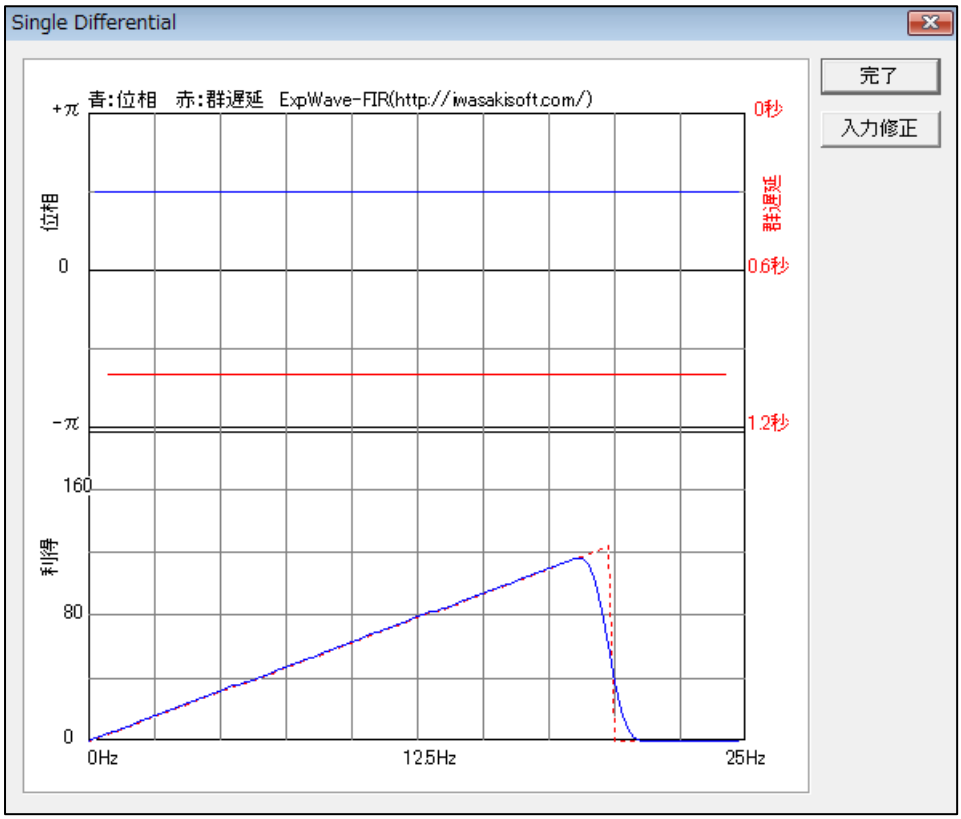


図 14　Single Differential フィルタの周波数特性(フィルタ長=50)

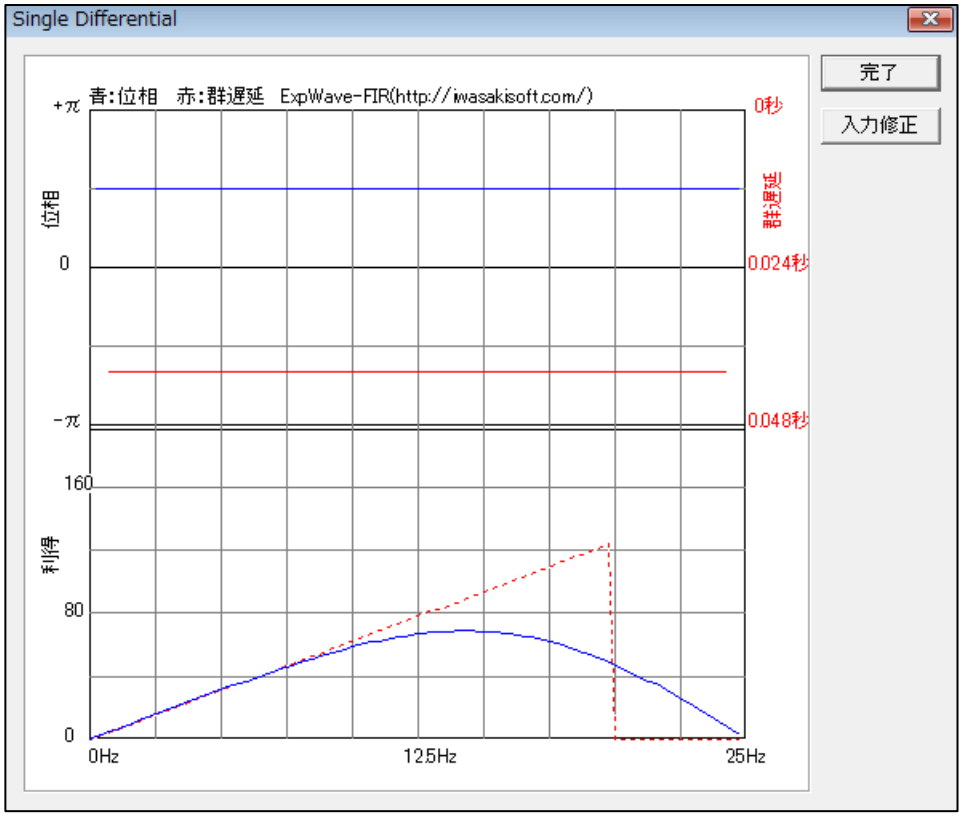


図 15　Single Differential フィルタの周波数特性(フィルタ長=2)

式(8)、(10)は、データ解析によく使われるフィルタです。しかし、正しく計算する範囲がサンプリング周波数の 1/4 以下であることが分ります。さらに、高い周波数まで精度がよいフィルタは、フィルタ長を大きくすると求めることが出来ます。

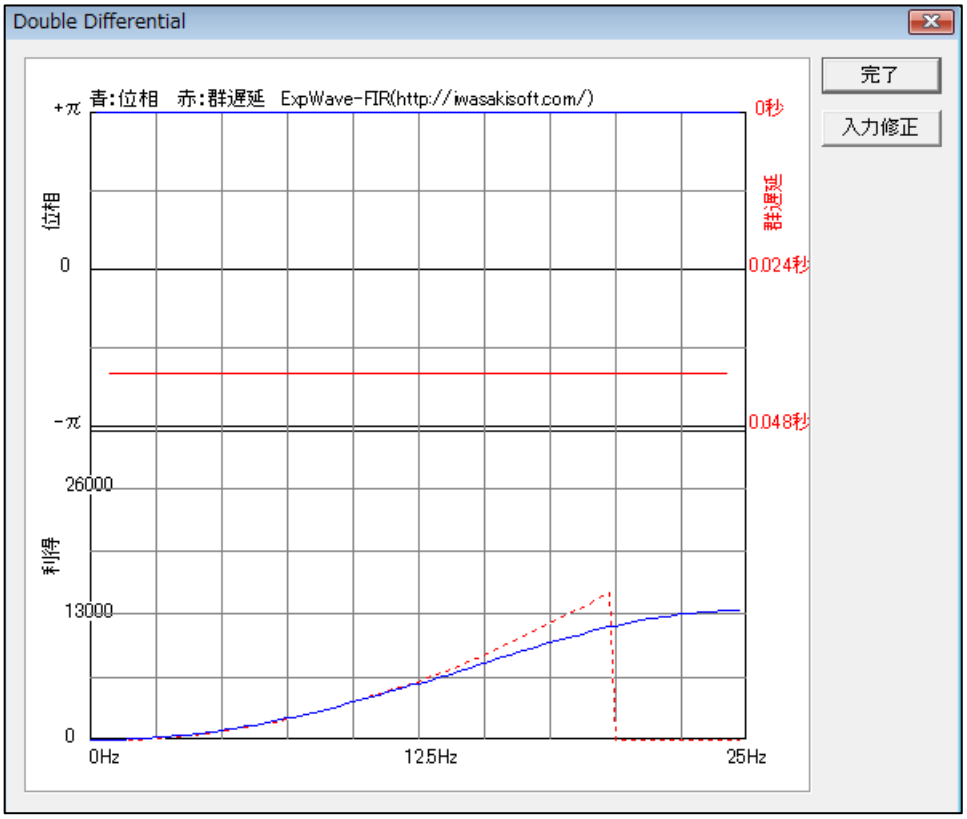


図 16 Double Differential フィルタの周波数特性(フィルタ長=2)

⑨任意周波数応答（利得）フィルタの作成

これで作成できるフィルタは、ユーザが指定する任意の周波数特性のフィルタです。ただし、指定できるのは、利得のみで、位相は、ゼロに設定されます。任意周波数応答（利得）の設定 dialog は、**図 17** になります。カットオフ周波数は、低域側と高域側にあります。これは、ユーザが作成したフィルタの周波数特性にローカット、ハイカット特性を付加する時に使います。このフィルタは、計測器の補正（例：水圧式波高計）、FM 信号・ドプラ信号の復調等に使われます。これを選択すると、ダイアログの中に、周波数特性の【読込】と【簡易作成】ボタンが現れます。

【簡易作成】の場合は、これを選択すると、テーブルが現れます。0Hz からナイキスト周波数までの指定したい周波数とその周波数の利得を指定します。周波数の間隔は、問いません。ただし、0Hz とナイキスト周波数が必ず含む必要があります。また、第一番目でなく 0Hz とした周波数は、無視されます。また、周波数順に並んでいる必要は、ありません。従って、キーとなる周波数のゲインを設定します。指定されない範囲は、自動的に補間されます。この例を**図 18** に示します。この場合の、周波数特性は、**図 19** になります。

【読込】の場合は、事前に周波数特性のテキストファイルを用意しておきます。利得の設定は、0Hz からナイキスト周波数までの指定したい周波数とその周波数の利得を指定します。FORMAT は、[周波数][tab][利得][cr]の繰り返しです。すなわち、周波数と利得の区切りは、tab になり、周波数と周波数の区切りは、キャリッジリターンとなります。こ

iwasakisoft.com

の指定周波数の数は、1400 個以内で、非常細かく設定することが出来ます。周波数の間隔は、問いません。ただし、0Hz とナイキスト周波数が必ず含むことと、周波数順に並んでいる必要があります。サンプル（FrSample.txt）を参照してください。【読込】ボタンをクリックすると、ファイル選択ダイアログが現れ、ファイルを選択し、【開く】をクリックすると、読込が終了し設定 Dialog に戻ります。そこで、【次へ】ボタンをクリックすると、周波数特性が表示されます。

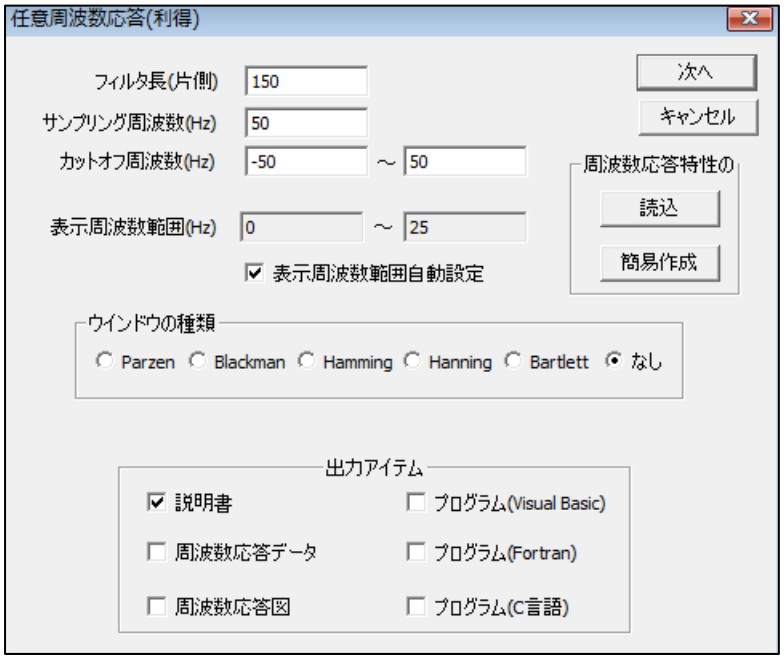


図 17　任意応答（利得）フィルタ設定 Dialog

図 18　簡易作成 Dialog

toiwasaki.com

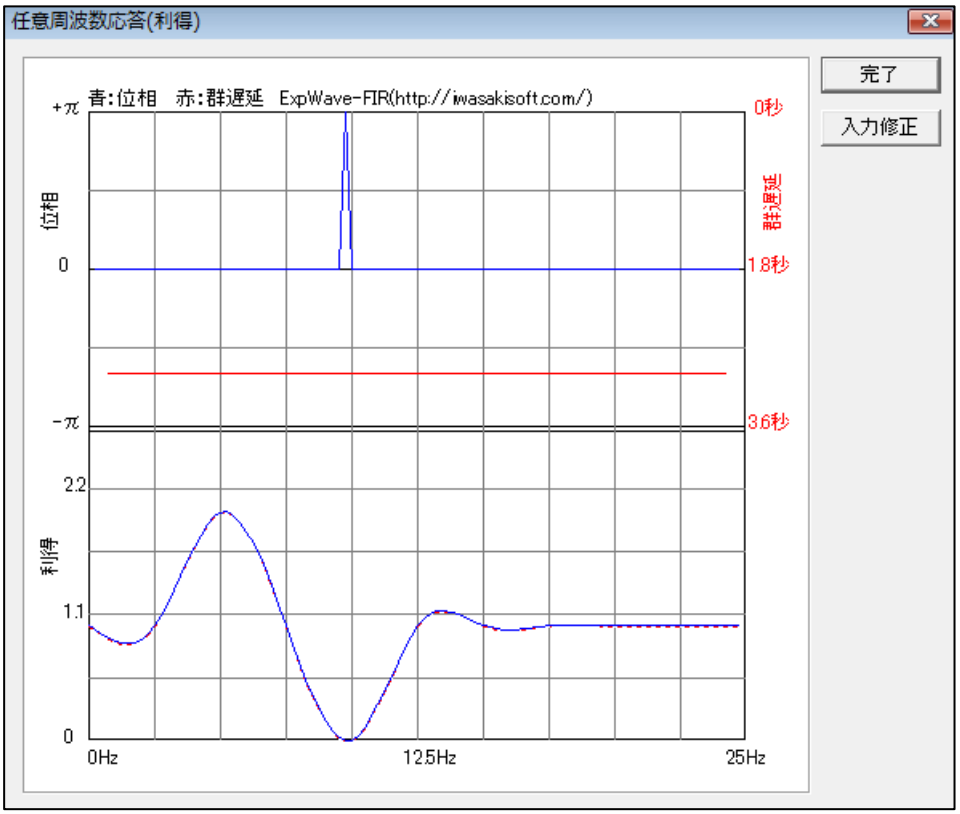


図 19 簡易作成したフィルタの周波数特性

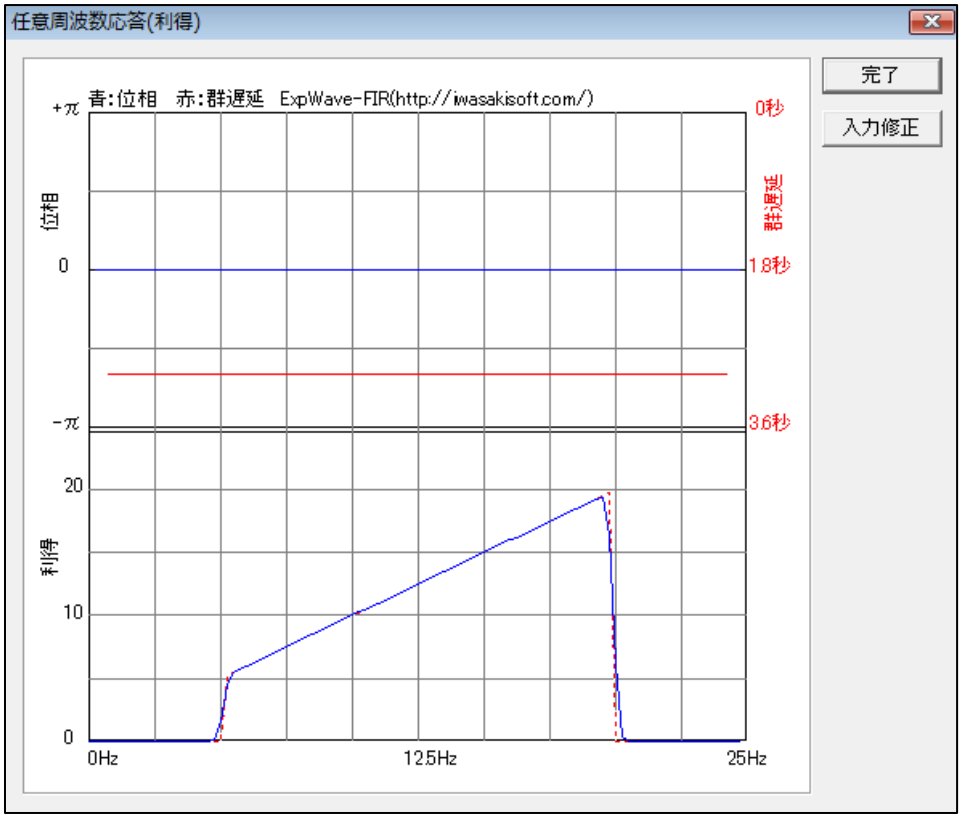


図 20 周波数特性読み込み＋ロー＆ハイカット付加の例

また、読み込んだデータを見たいときは、【キャンセル】ボタンを押します。エディタ画面に、読み込んだデータが表示されます。この場合は、再度【フィルタ作成】⇒【任意周波数応答（利得）】を選択する必要があります。読込みの場合の例は、**図 20** になります。なお、サンプル（FrSample.txt）は、excel で、周波数、利得の表を作り、その部分のみ copy して、notepad（メモ帳）に貼り付け、「名前をつけて保存」で作成しました。こうすると、[周波数][tab][利得][cr]の FORMAT になります。

⑩任意周波数応答（利得＆位相）フィルタの作成

これで作成できるフィルタは、ユーザが指定する任意の周波数特性のフィルタです。ただし、利得と位相を指定することができます。任意周波数応答の設定 dialog は、**図 21** になります。カットオフ周波数は、低域側と高域側にあります。これは、ユーザが作成したフィルタの周波数特性にローカット、ハイカット特性を付加する時に使います。このフィルタは、計測器の補正等に使うことができます。これを選択すると、ダイアログの中に、周波数特性の【読込】と【簡易作成】ボタンが現れます。

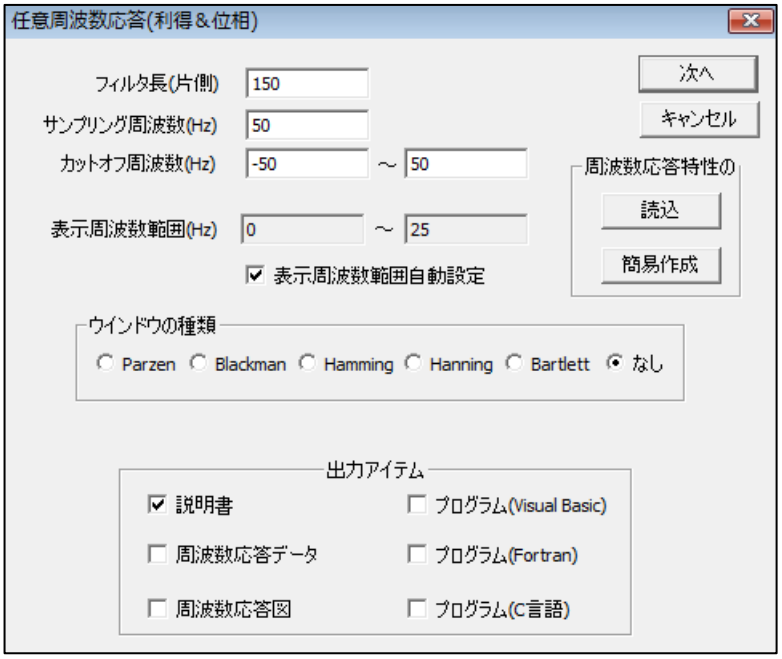


図 21　任意応答（利得＆位相）フィルタ設定 Dialog

【簡易作成】の場合は、これを選択すると、テーブルが現れます。0Hz からナイキスト周波数までの指定したい周波数とその周波数の利得と位相を指定します。周波数の間隔は、問いません。ただし、0Hz とナイキスト周波数が必ず含む必要があります。また、第一番目でなく 0Hz とした周波数は、無視されます。また、周波数順に並んでいる必要は、ありません。従って、キーとなる周波数の利得と位相を設定します。指定されない範囲は、自動的に補間されます。この例を**図 22** に示します。この場合の、周波数特性は、**図 23** になります。

【読込】の場合は、事前に周波数特性のテキストファイルを用意しておきます。利得と位相の指定は、0Hz からナイキスト周波数までの指定したい周波数とその周波数の利得と位相を指定します。この指定周波数の数は、1400 個以内で、非常細かく設定することが出来ます。周波数の間隔は、問いません。ただし、0Hz とナイキスト周波数が必ず含むことと、周波数順に並んでいる必要があります。FORMAT は、[周波数][tab][利得] [tab][位相]

tt-iwasaki.com

[cr]の繰り返しです。すなわち、周波数と利得、位相の区切りは、tab になり、周波数と周波数の区切りは、キャリッジリターンとなります。サンプル（PhaseSample.txt）を参照してください。

図 22 簡易作成 Dialog

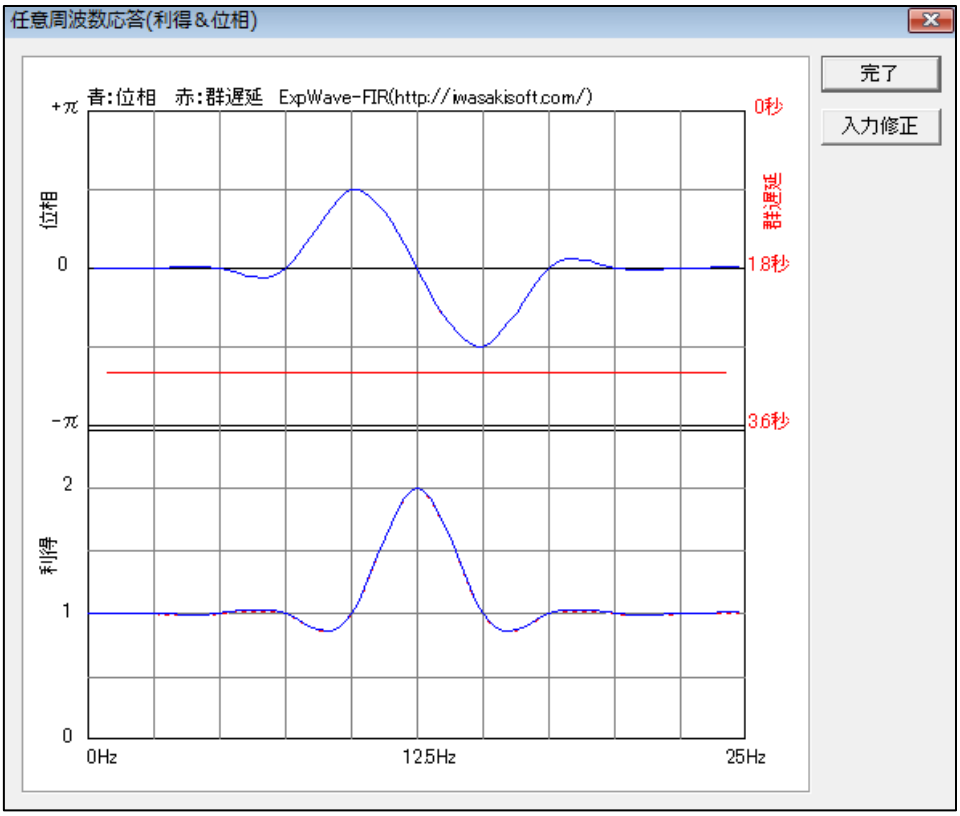


図 23 簡易作成したフィルタの周波数特性

【読込】ボタンをクリックすると、ファイル選択ダイアログが現れ、ファイルを選択し、【開く】をクリックすると、読込が終了し設定 Dialog に戻ります。そこで、【次へ】ボタンをクリックすると、周波数特性が表示されます。また、読み込んだデータを見たいときは、【キャンセル】ボタンを押します。エディタ画面に、読み込んだデータが表示されます。この場合は、再度【フィルタ作成】⇒【任意周波数応答（利得＆位相）】を選択する必要があります。読込みの例は、**図 24** になります。
なお、サンプル（PhaseSample.txt）は、excel で、周波数、利得、位相の表を作り、その部分のみ copy して、notepad（メモ帳）に貼り付け、「名前をつけて保存」で作成しました。こうすると、[周波数][tab][利得][tab][位相][cr]の FORMAT になります。

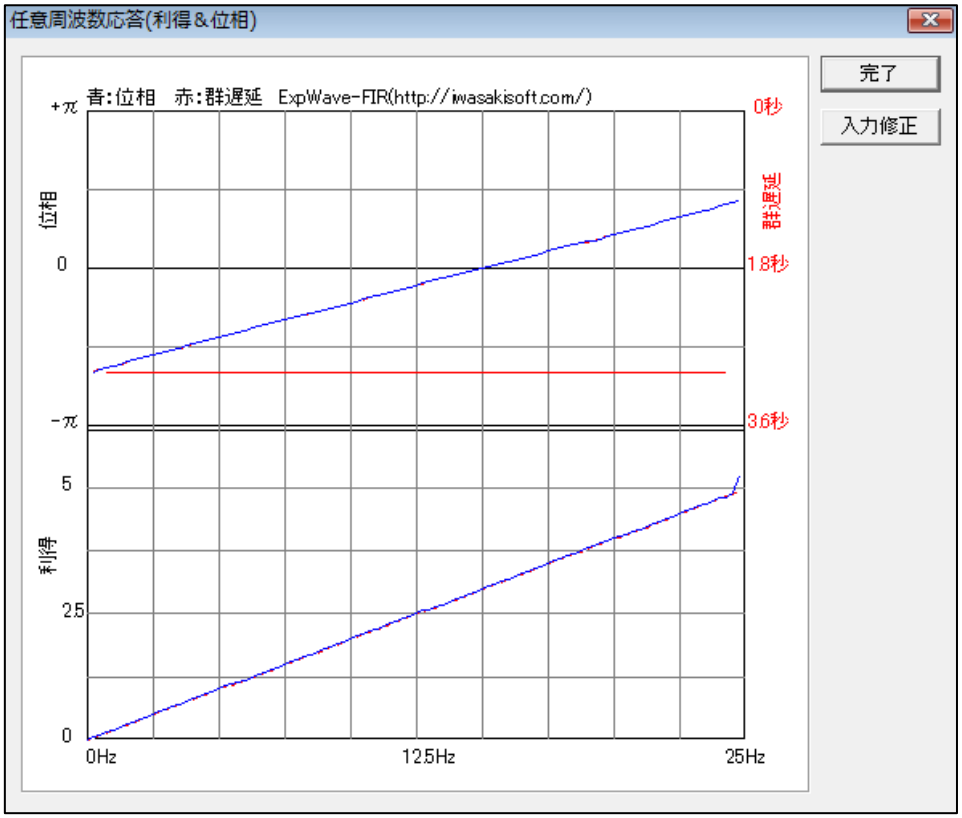


図 24　周波数特性（利得＆位相）読み込みの例

⑪気象庁（震度算出用）地震フィルタの作成
これで作成されるフィルタは、気象庁の計測震度の計算で使われているフィルタです。【気象庁　震度の算出方法】参照。このフィルタを用いると、震度は、次のようにして、リアルタイムで求めることができます。（気象庁の方法は、正逆フーリエ変換を用いるため、バッチ処理。）３成分の地震加速度をリアルタイムに、このフィルタに通し、出力３成分を合成したベクトル波形の絶対値がある値 a 以上となる時間の合計を計算したとき、これがちょうど 0.3 秒となるような a を求める。 この a から　$I = 2 \log a + 0.94$　により計測震度 I を計算します。リアルタイムに、震度を出し続けることが可能となります。この例は、**図 25** になります。

iwasakisoft.com

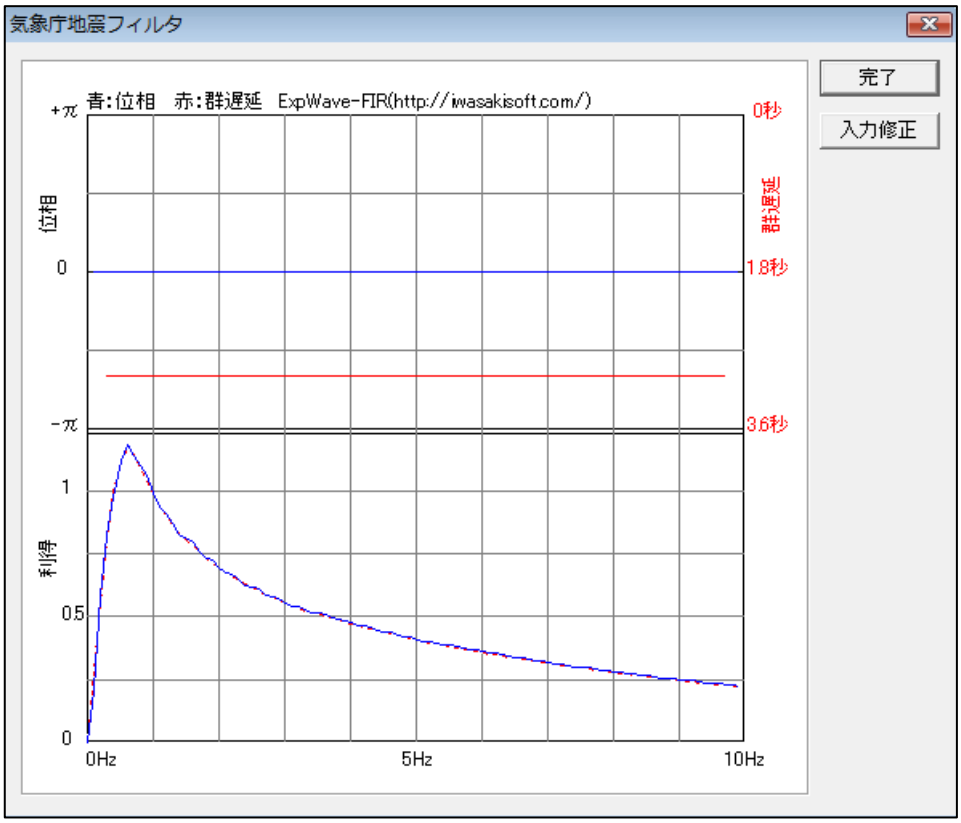


図 25 気象庁震度算出用フィルタの周波数特性

4．出力アイテムの個別作成

フィルタを作成した後で、個別作成メニュー（**図 26**）を選択すると、選択したアイテムだけがエディタ上に作成されます。フィルタ作成時設定し、エディタ上にあるアイテムは、消去されます。必要なものだけ抽出し、コピー&ペーストで、Word、Excel 等取り込む場合に便利です。ただし、インパルス応答は、ここでなくては作成出来ません。

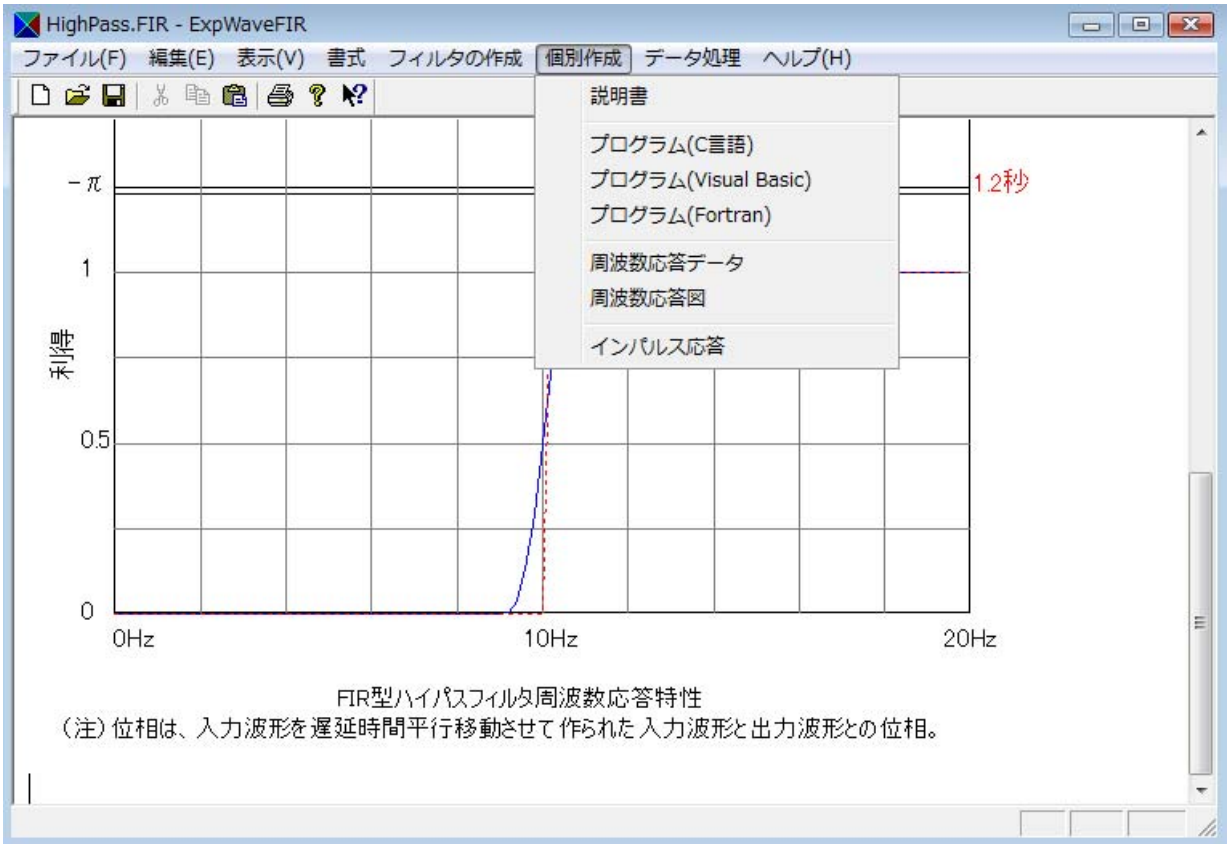


図 26　個別作成メニュー

①インパルス応答

一般に、「**7．フィルタリング計算とインパルス応答**」で述べているように、フィルタ処理を行う時、そのフィルタのインパルス応答長を確認しておく必要があります。このメニューを選択すると、フィルタのインパルス応答を図形で表示し、その値をエディタ上に表示します。**図 27** にローパスフィルタの例を示します。下部のスクロールバーで、データを左右に移動できます。また、ラジオボタンで倍率を変えることが出来ます。

一般に、FIR 型の場合のインパルス応答 H(t)は、t=0 軸に対し面対称（H(t)= H(-t)）か、原点に対し点対称（H(t)= -H(-t)）です。これは、位相直線性を確保し、波形歪みを生じさせないためです。

時刻 i での入力データを X_i、出力データを Y_i とし、インパルス応答を H_i 、n を片側のインパルス応答長（データ数=n+1）とする。出力データ Y_i は、**式(12)**で表される。

$$Y_i = \sum_{k=-n}^{n} (H_k X_{i-k}) \qquad \text{ただし} H_i \quad (-n \le i \le n) \qquad \cdots\cdots (12)$$

式(12)から分るように、FIR 型は、インパルス応答の片側長分の時間の遅れを持つ、リアルタイム・無歪みのフィルタリングが可能になっています。
式(12)が分りにくい場合は、インパルス応答 $H(t)$を移動平均の重み関数 $W(t)$に変換しましょう。この変換は、簡単で、$H(t)=W(-t)$となり、$t=0$ 軸に対し反転したものになります。この重み関数 $W(t)$を用いると**式(13)**で出力が計算できます。

$$Y_i = \sum_{k=-n}^{n}(W_k X_{i+k}) \qquad \text{ただし} W_i \quad (-n \le i \le n) \qquad \cdots\cdots \textbf{(13)}$$

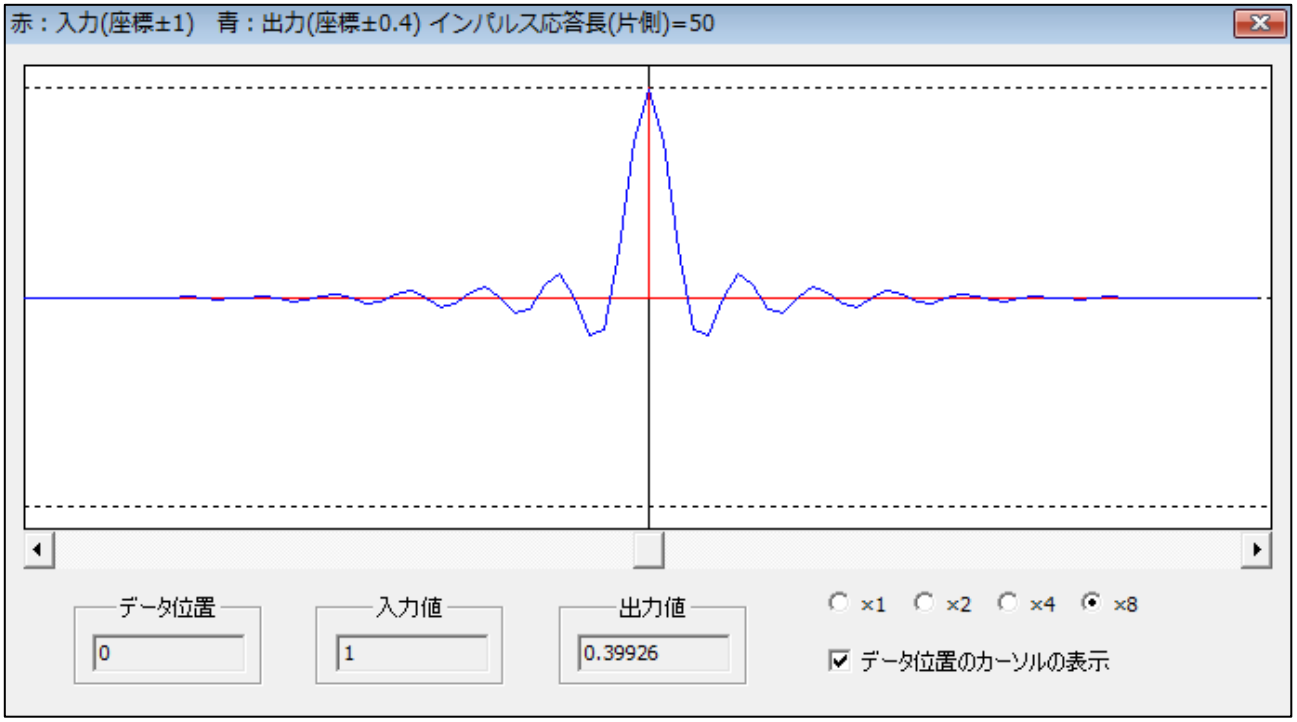


図 27 ローパスフィルタのインパルス応答

tsi.wasakison.com

５．データ処理

データ処理をするためには、フィルタが作成されていることと、入力データが読込まれているか試験波が作成されている必要があります。また、入力データのサンプリング周波数は、フィルタを作成した時のサンプリング周波数になります。処理内容は、**図 28** のメニューに示します。各メニューを実行すると、関係の数値データがエディタに現れます。必要なら、このデータを使って EXCEL で図化することも出来ます。

①入力データの読込

空白文字（スペース、タブ、改行）で、分けられた時系列データのファイルを読み取ることができます。データ数は、最大 10,000 個です。読込んだデータは、番号が付加され、エディタ上に表示されます。番号とデータの区切りは、【TAB】区切りですので、EXCEL にコピー&ペーストして貼り付けることができます。一度データが入力されると、メニューの先頭にチェックマークが付加されます。**図 28 参照**。

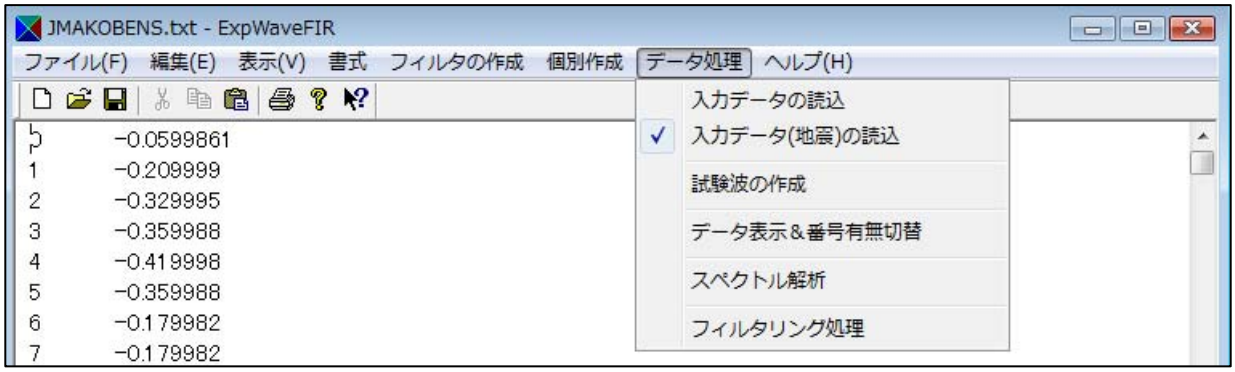


図 28　データ処理メニュー

データを読込む時、**図 29** のスケールファクター等の設定ダイアログが現れます。スケールファクターの初期値は、入力データ(地震)読込の場合、**図 29** となります。単なる読込の場合は、分子と分母が１となります。また、ゼロデータの追加も設定できます。

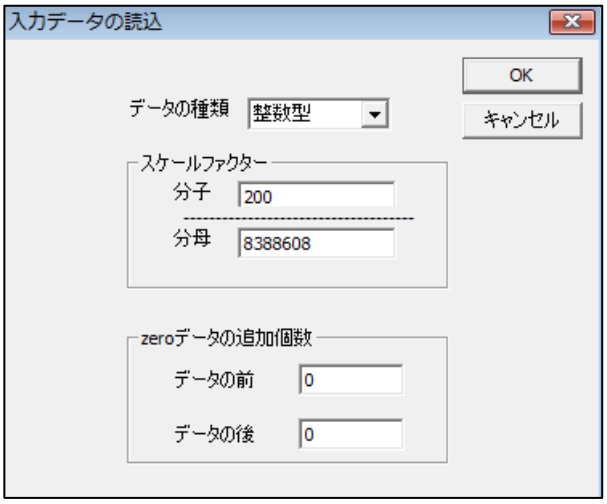


図 29　入力データ(地震)読込のスケールファクター

iwasaki-soft.com

②試験波の作成

任意の周波数の SIN 波を作成することができます。メニューをクリックすると、**図 30** の Dialog が現れるので、試験波の周波数を設定します。サンプリング周波数は、作成したフィルタのサンプリング周波数になります。

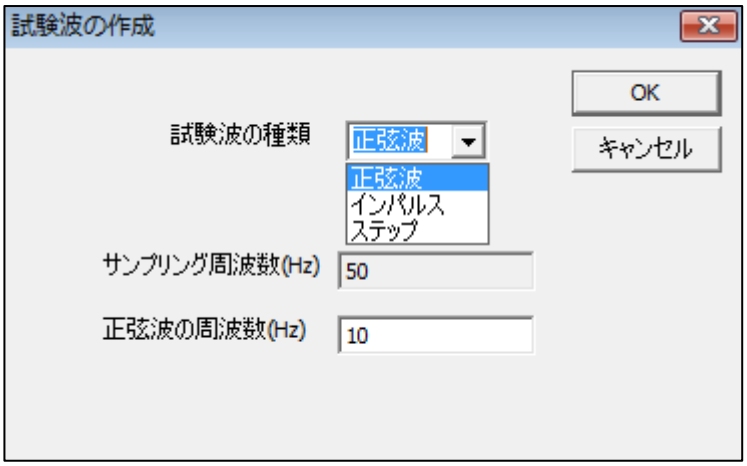


図 30 試験波の周波数の設定

③データ表示&番号有無切替

読込んだ直後は、データに番号が自動的に付加されています。このメニューを選択すると、この番号を除いたり、付加したり切り替えることが出来ます。このエディタ上のデータは、【ファイル】⇒【名前を付けて保存】を用いて保存できるので、この機能でデータ保存様式を変えることができます。

④スペクトル解析

図 31 にスペクトル解析の結果例を示します。スペクトルは、フィルタの周波数応答特性図の上に紫で描かれます。従って、周波数表示範囲を変える時は、フィルタ作成に戻って、周波数応答特性図の周波数表示範囲を変えてください。また、スペクトルの表示は、表示される周波数範囲での最大値を 1 として自動縮尺表示しています。従って、周波数表示範囲の設定によっては、スペクトルの表示の大きさが異なることがあります。ただし、エディタ上には、表示範囲でのパワースペクトル密度値が表示されます。

このように、フィルタの周波数応答特性図の上に描かれるため、フィルタとのデータの周波数特性が比較できます。フィルタが対象とするデータサンプルが入手できる場合、この機能は、フィルタ定数の設定に大いに役立つと思われます。また、この図は、Dialog のコピーボタンをクリックすると、クリップボードにコピーされます。Word に貼り付けできます。**図 32** は、この方法で Word に貼り付けた図です。

iwasaki-soft.com

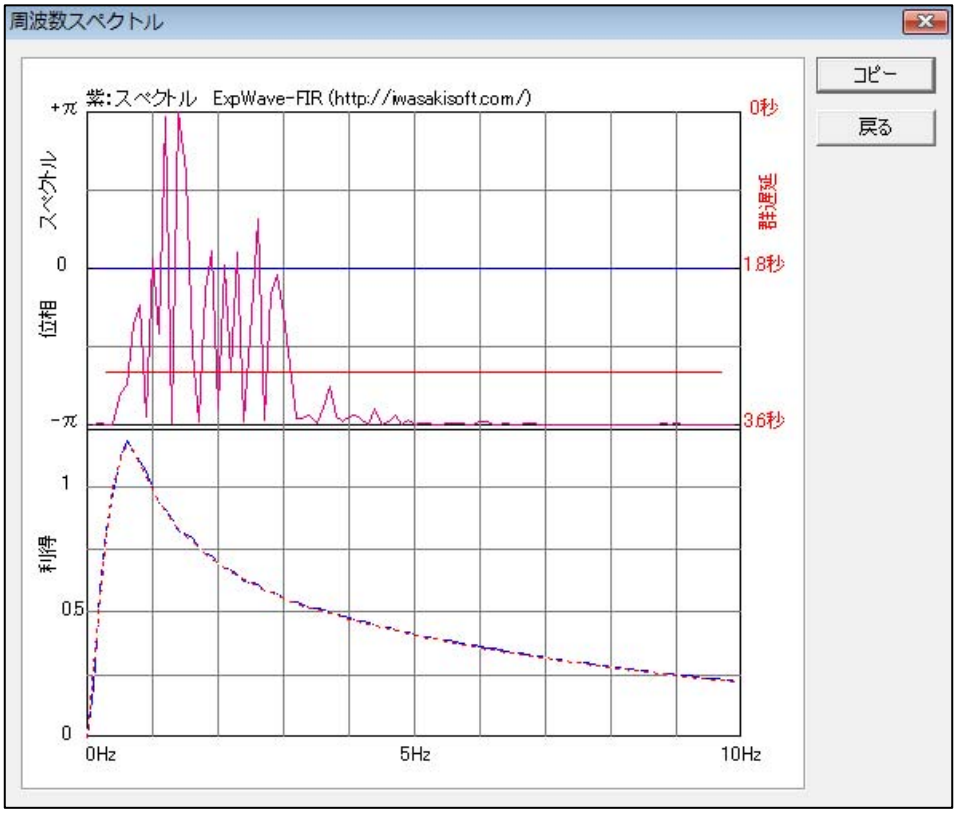


図 31　震度用フィルタと地震スペクトル

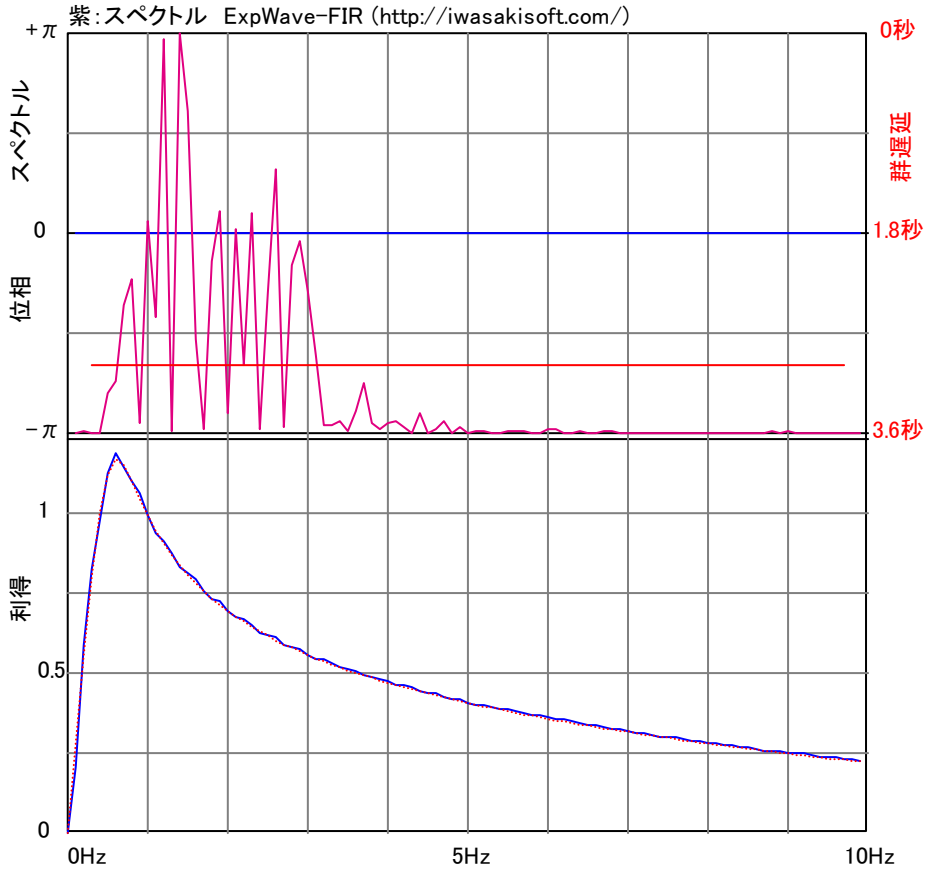


図 32　JMA KOBE NS スペクトル解析

⑤フィルタリング処理

このフィルタリング処理は、フィルタ作成時に試験波を用いてフィルタの設定値を評価するためとデータ処理に用います。**7. フィルタリング計算とインパルス応答**で示すように、出力の有効な範囲は、データ処理開始から、インパルス応答（片側）長経過後有効になります。波浪データのように、連続したデータから切り出して入力データが作られた場合は、出力の最初のデータからインパルス応答（片側）長分を削除する必要があります。インパルス応答長は、【個別作成】⇒【インパルス応答】で確かめておきましょう。（もちろん、リアルタイム型 FIR フィルタで連続処理している場合は、計測開始時だけの問題で、通常問題になりません。）
また、一般に、対象インパルス応答を持つ FIR フィルタは、過去に向かって、フィルタ長分応答します。
この**フィルタリング処理**は、入力データの開始時刻から過去への無限の範囲のデータを全てゼロとして、処理を開始します。従って、地震波のように、ゼロが続く状態で、地震の発生し、やがてゼロに収束する場合は、地震波形より前のゼロ部分のデータが無くても、ゼロが存在したとして処理します。

⑥フィルタリング処理例１（震度計算用フィルタ）

図 33 は、震度算出用フィルタに **JMA KOBE** 1995 NS の加速度波形を入力し、処理した結果を示します。周波数の高い成分が抑えられていることが分ります。（JMA KOBE は、1995 年兵庫県南部地震(阪神淡路大震災)の神戸海洋気象台での観測記録です。）**図 34** は、エディタ画面に表示される処理結果データを、コピー＆ペーストで Excel に貼付け、図化したものです。

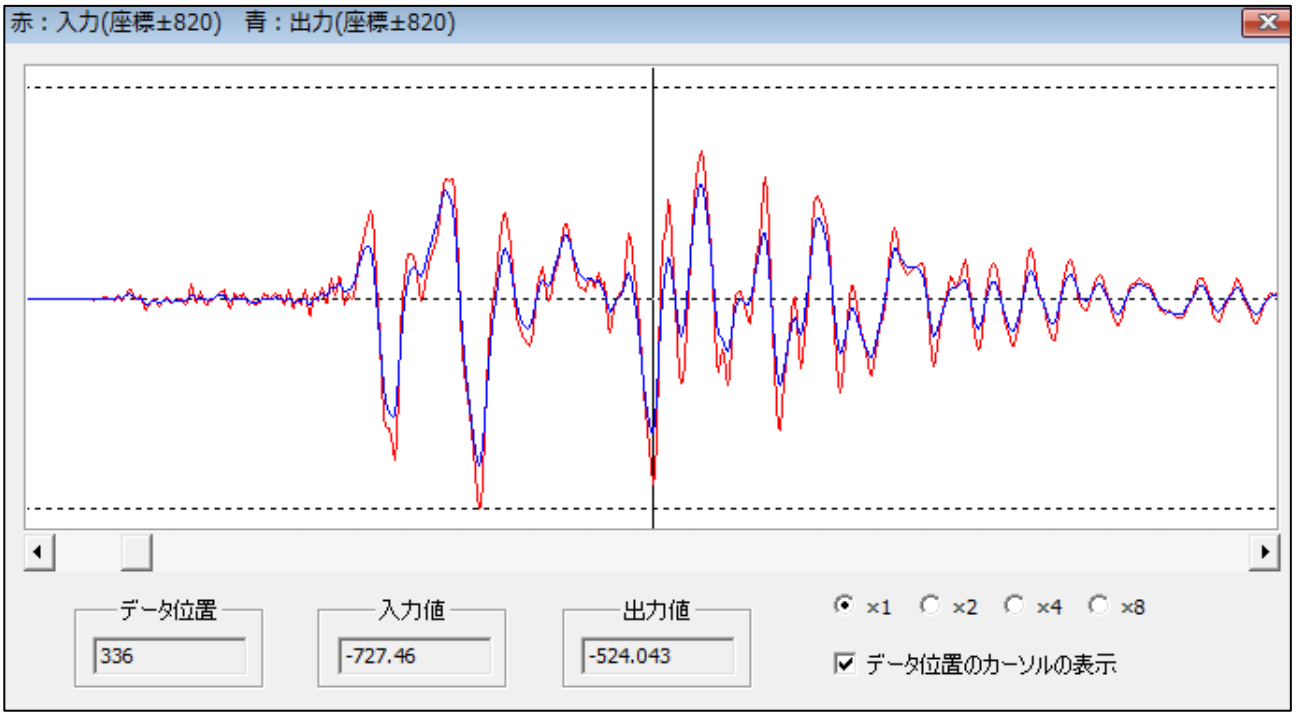


図 33 震度計算用フィルタによる処理結果

iwasakisoft.com

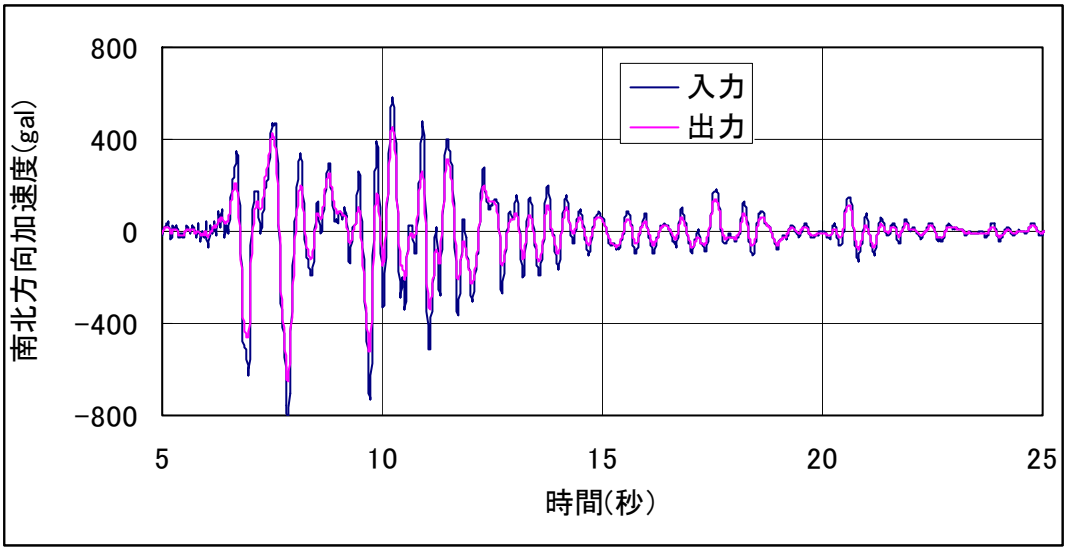


図 34　処理結果を Excel で図化

⑦フィルタリング処理例２（１回積分フイルタ）

次に、**JMA KOBE** 1995 NS の加速度波形の 1 回積分を行い、速度を求めてみましょう。先ず、1 回積分のフィルタ(Single Integral)を選択、設定します。次に、入力データの読込をクリックします。次に、本ソフトによるスペクトル解析をし、全体のスペクトルが積分範囲に入るように、フィルタのカットオフ周波数を定めます。**図 35** の場合は、0.2Hz に設定してあります。この図からわかるように、スペクトルの大部分が 0.2Hz 以上の成分となっています。次に、フィルタリング処理をクリックすると、**図 36**、**図 37** が得られます。

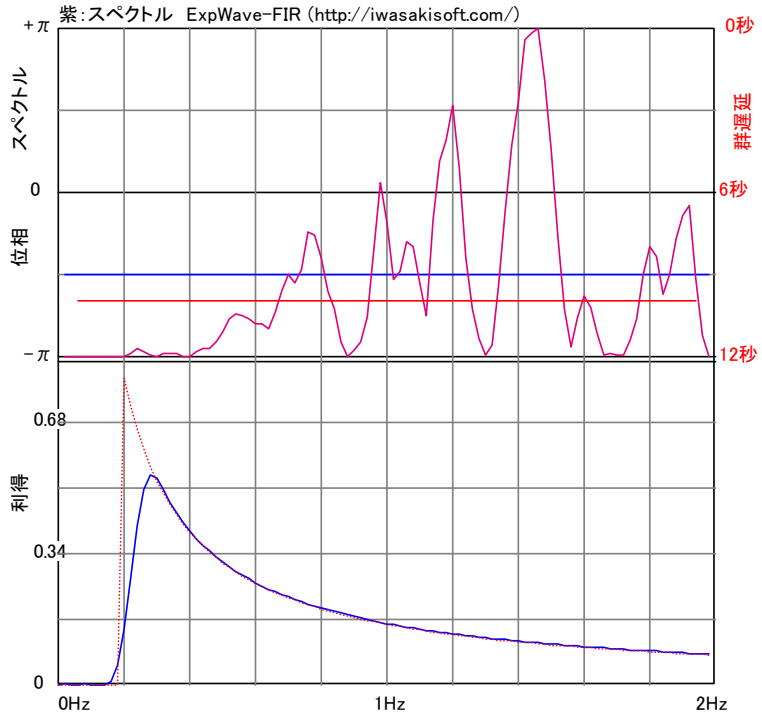


図 35　１回積分フィルタと地震のスペクトル

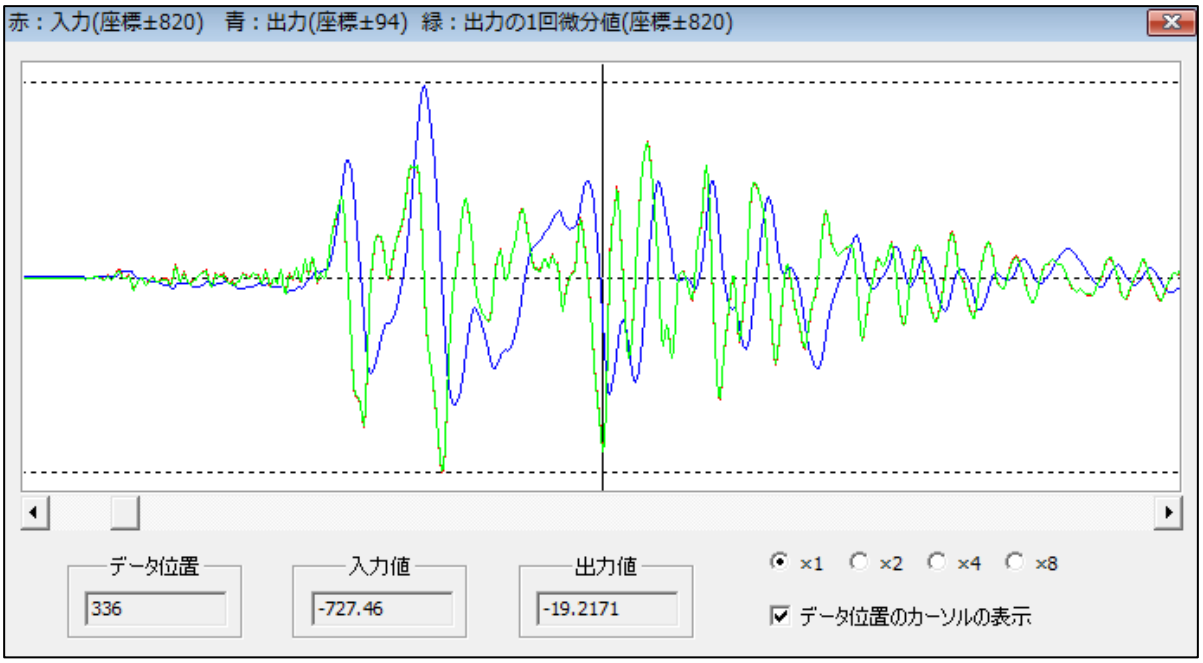


図 36 1 回積分処理結果前半

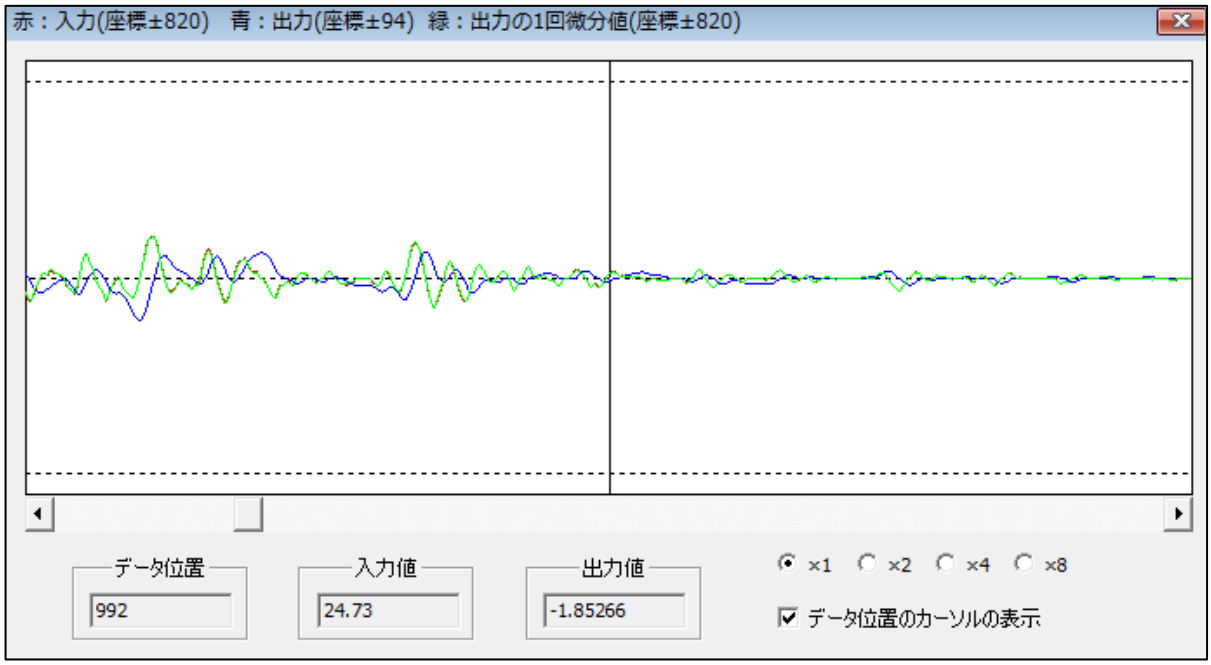


図 37 1 回積分処理結果後半

図 36、**図 37** で赤色が入力で、青色が入力を 1 回積分したフィルタ出力です。緑色は、検証のため、出力を微分したものです。もし、完全な 1 回積分が行われていると、入力と緑が一致し、上書きの緑色になります。**図 36**、**図 37** では、ほぼ一致していることが分ります。また、**図 37** から、積分結果が収束しており、発散せずに安定に積分が行われていることが分かります。検証用の出力の 1 回微分計算は、**式(8)**を用いています。

⑧フィルタリング処理例３（２回積分フイルタ）

図 38、**図 39** に 2 回積分処理の結果を示します。検証用の出力の 2 回微分計算は、**式(10)**を用いています。同様に、発散せずに安定に積分が行われていることが分かります。

iwasaki-soft.com

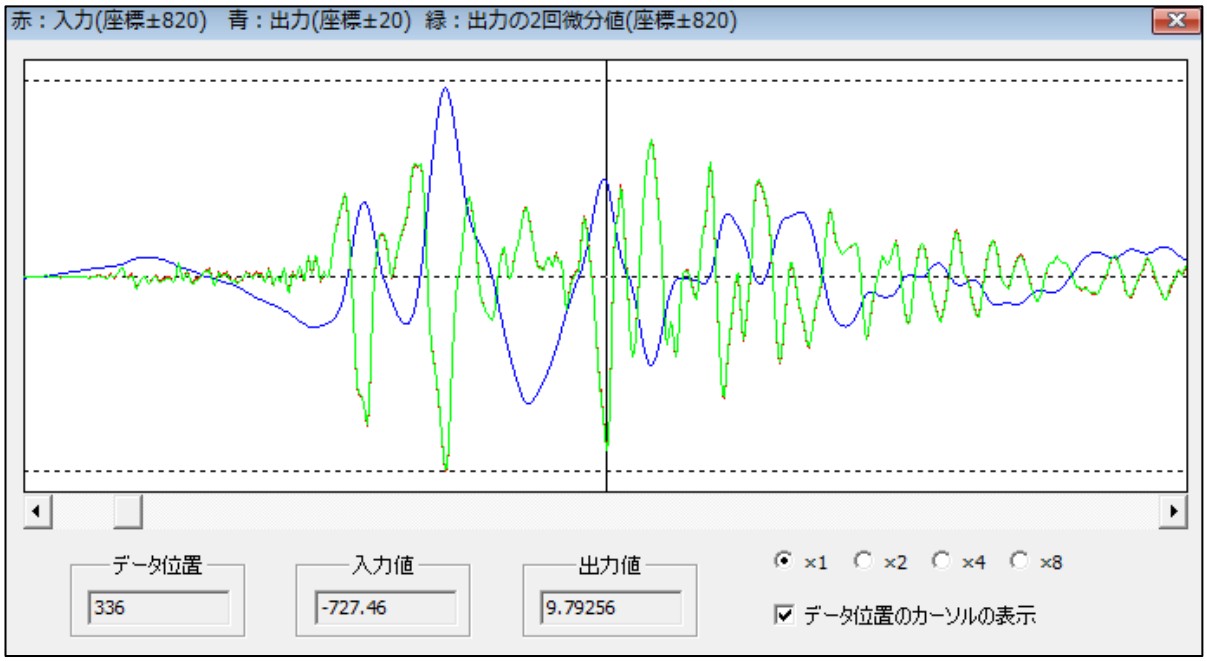


図 38　2 回積分処理結果前半

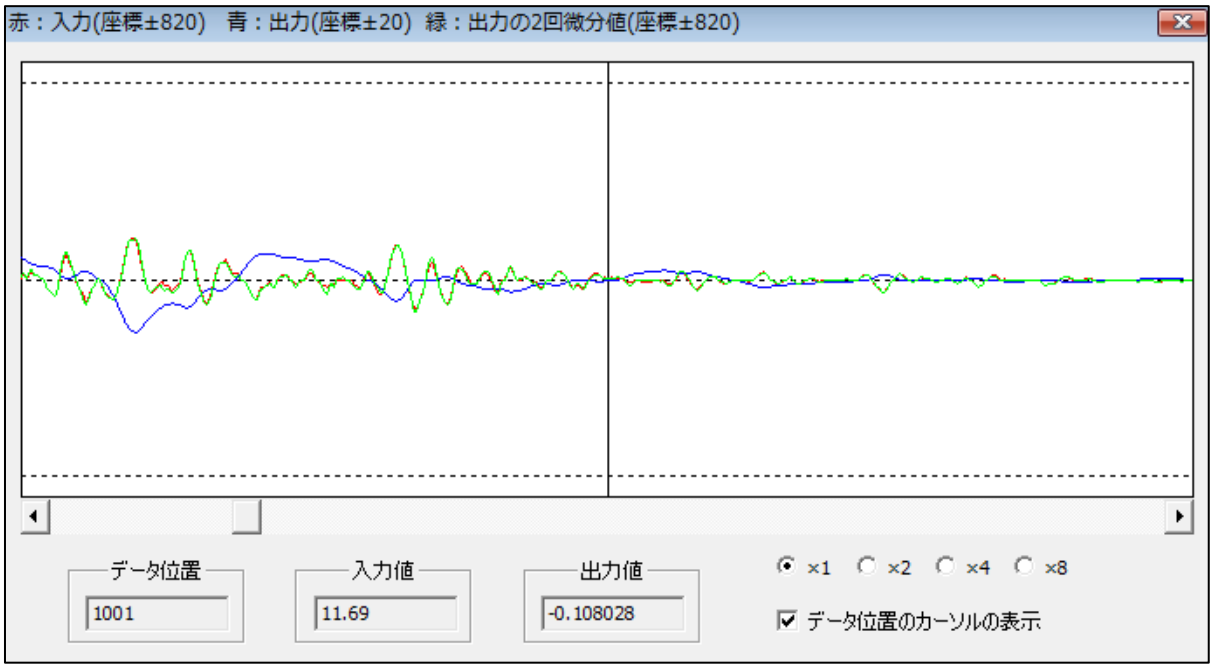


図 39　2 回積分処理結果後半

iwasaki-soft.com

６．Excel でフィルタリング処理

メニューの 【フィルタの作成】⇒出力アイテムで【プログラム（Visual BASIC）】を選択するか、【個別作成】⇒【プログラム（Visual BASIC）】を選択します。**ExpWave-FIR** は、出力として、フィルタ処理プログラムを BASIC 言語で作成します。この機能を用いると、Excel でデータ処理（フィルタ処理）ができます。
Visual BASIC 言語のプログラムを出力し、これを、Excel の VB（Visual BASIC）のプログラムシート（Excel で、【ツール】⇒【マクロ】⇒【Visual Basic Editor】で現れるシート）に貼り付けます。
これを、実処理に使うには、例題プログラムのコメントに記述されている黄色で表示した部分を修正します。次の文の 2400 を処理するデータ数に合わせます。 そして、スプレッドシートの C の 5 行目から、入力データを入れ、プログラムの Sub main() から実行すると処理ができます。

```
                    .
                    .
                    .
'*-------------------------------------------------*
'   試験データの作成
  NDATA=2400-1            '①>>>>>>>>試験データの数+1
  For KK = 0 To NDATA
    T = KK * DeltaT
'    XS = Cos(2# * 3.1415 * CUTFQ * T)    '②>>>>>>>>試験データ
    Cells(KK + 5, 1).Value = KK          'A列
    Cells(KK + 5, 2).Value = T           'B列
'    Cells(KK + 5, 3).Value = XS          'C列    ③>>>>>>>>試験データの代入
  Next KK
  '*---------------------------------*
  'この試験データで試験する時は、
  '   ②③の文の先頭のコメント記号 ' を削除してください
  '*---------------------------------*
  'このプログラムを、実際の処理に利用する場合は、
  '   処理するデータをC列の５番目から貼り付けて、
  '   処理するデータ数を①の文のNDATAに設定してください
  '*-------------------------------------------------*
                    .
                    .
                    .
```

iwasakisoft.com

7．フィルタリング計算とインパルス応答

フィルタリング計算は、基本的には、コンボルリューション（畳込計算）です。従って、FIR 計算が基本的考え方です。すなわち**式(12)**が基本的畳込計算です。
FIR 法によるフィルタリング計算も、FFT（高速フーリエ変換）によるフィルタリング計算も基本は、同じです。従って、次の点に注意が必要です。

①対称 FIR フィルタリング出力の有効範囲

この場合のインパルス応答は、**図 27** のような過去と未来に対して対称な応答です。そしてインパルス応答の長さを n データ数とする。**式(12)**ので現在フィルタ出力 Y_i が正しく計算されるには、現在の時刻より n データ過去のデータから現在、さらに現在から n データ未来までのデータが必要です。これを図示すると**図 40** のようになります。従って、データを入手する場合は、十分注意する必要があります。

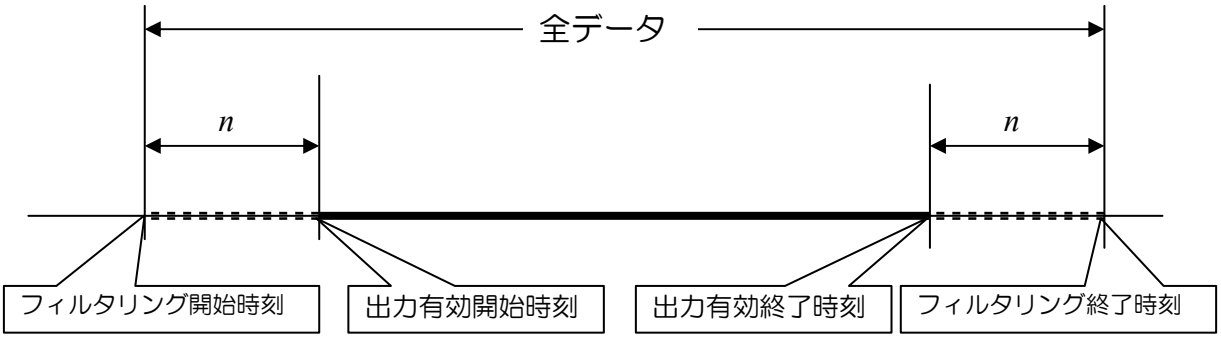


図 40　出力が有効になる時間範囲

②FFT によるフィルタリングの問題点

あるデータを FFT でフーリエ変換し、必要な周波数成分を残し逆変換して波形を求める。これで、バンドパスの処理が出来ていると考えていませんか？　FFT による計算も、**図 40** の関係にあります。従って、得られた波形の両端部を除く必要があります。この場合のバンドパスの特性は、急激に減衰するので、インパルス応答長が非常に長くなる。従って、インパルス応答長を考えないで、フィルタリング処理することは非常に危険です。
一般に、急峻減衰特性は、インパルス応答長が長くなる、緩やかな減衰特性は、インパルス応答長が短くなる。従って、このようなオフラインのフィリタリング処理は、インパルス応答長を考えた処理が望ましい。
一般に、FIR 型フィルタの作成は、インパルス応答長と減衰特性がトレードオフの関係にあるため、試行錯誤でフィルタを決定します。**ExpWave-FIR** は、この試行錯誤ができ、FIR 型フィルタの作成とフィルタリング処理が可能になっています。

iwasaki-soft.com

8．ファイルの保存・読込

保存と読込めるファイルの種類は、３種類あります。

①FIR ファイル

拡張子が FIR のファイルです。これは、ファイル作成での設定値を記憶するファイルです。

②rtf ファイル

拡張子が　rtf のリッチテキストファイルです。エディタ画面のテキストと周波数応答特性の図が保存可能です。また、Word、WordPad で読込可能です。

③txt ファイル

拡張子が　txt のファイルです。エディタ画面のテキストのみ保存されます。周波数応答特性の図は、保存されません。また、Word、WordPad、メモ帳で読込可能です。

④ファイルの保存

ファイルを保存するには、【ファイル】⇒【名前を付けて保存】で行います。どの形式で保存するかは、名前を付けて保存 Dialog で表示される【ファイルの種類】の窓で選択します。

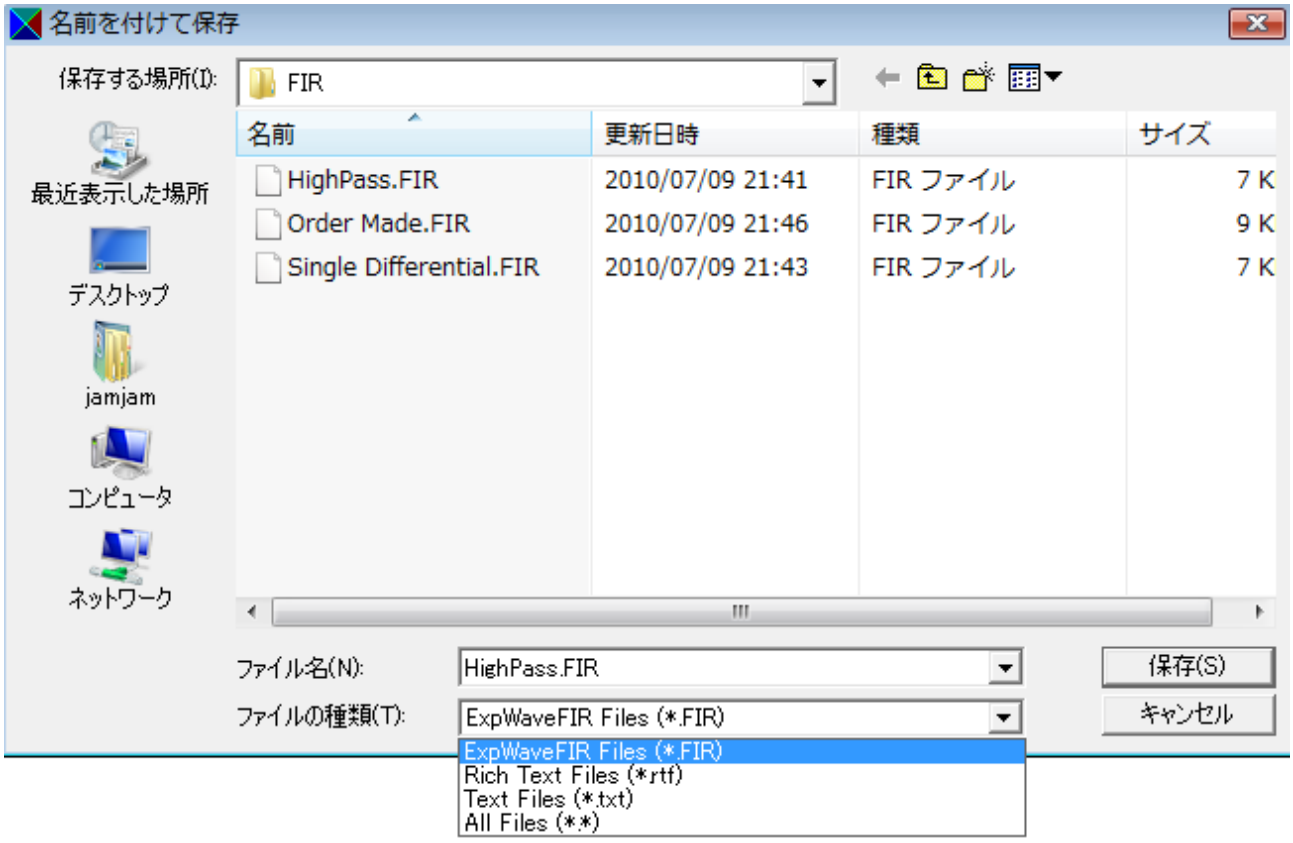


図 41　３種類のファイルの保存

⑤ファイルの読込

ファイルを読込むには、【ファイル】⇒【開く】で行います。また、どの形式のファイルを読込むかは、【ファイルを開く】Dialog で表示される【ファイルの種類】の窓で選択します。

tsl-iwasaki.com

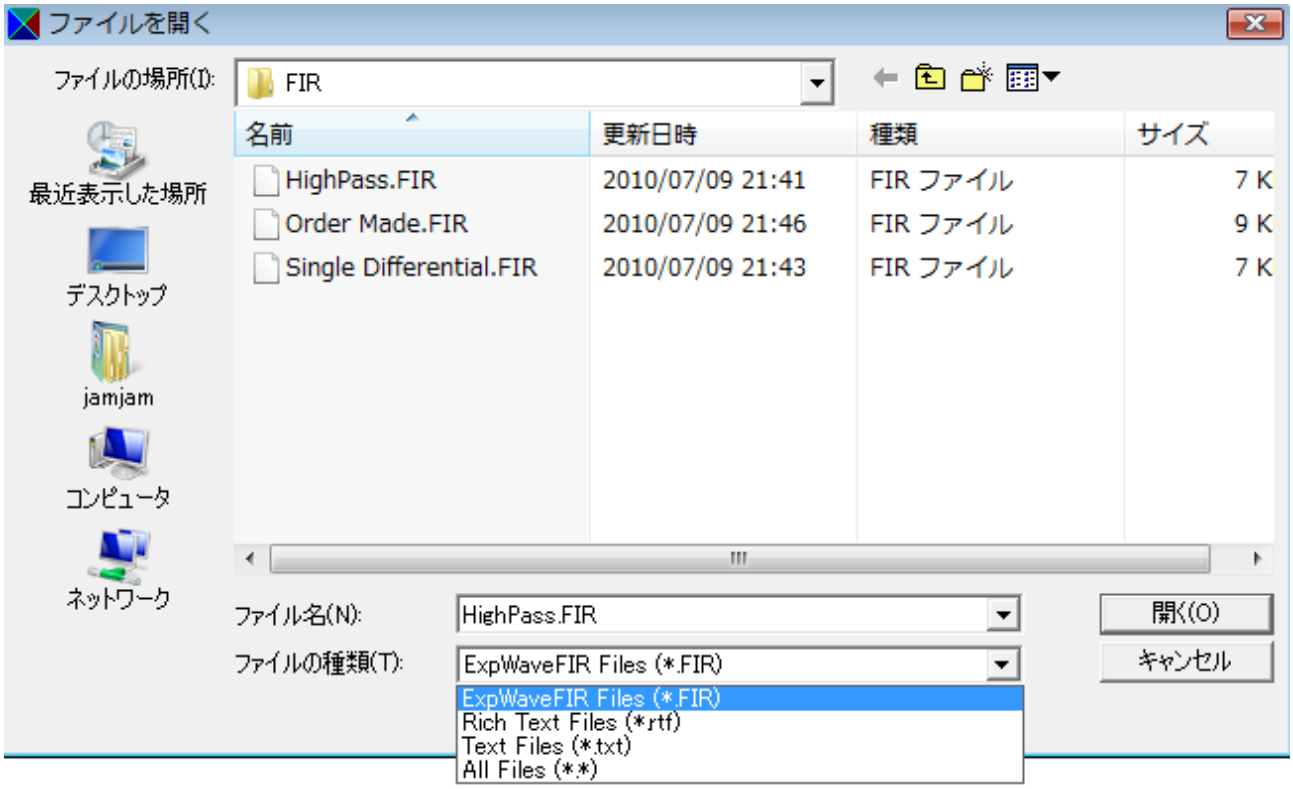


図 42　３種類のファイルの読込

iwasaki-soft.com

索 引

３

３角フィルタ, 12

６

6 自由度動揺計, 2

B

Band Pass/Band Reject, 13

D

Double Integral, 15

E

Excel でフィルタリング処理, 34
ExpWave-IIR の特徴, 1

F

FFT, 35
FFT によるフィルタリングの問題点, 35
FM 信号の復調, 18

I

IIR 型の双方向フィルタ, 8
IIR 型の単方向フィルタ, 8

L

Low Pass/High Pass, 12

N

Narrow Band Pass/ Narrow Band Reject, 15

S

Single Integral, 15
Single/Double Differential, 16

T

Trend/Detrend, 12

い

位相直線性, 5
移動平均, 12
移動平均フィルタ, 4
因果律を犯さない IIR 型フィルタ, 6
因果律を犯さないフィルタ, 6
因果律を犯すフィルタ, 6
インパルス応答, 25

か

各種フィルタの比較, 7, 8
加速度, 15, 16, 21
加速度計, 2
角速度計, 15

き

気象庁（震度算出用）地震フィルタ, 23
希望周波数特性, 12

く

矩形の移動平均, 12
群遅延時間, 5

け

計測器の補正, 18, 21

し

試験波の作成, 28
周波数応答特性, 5
出力アイテムの個別作成, 25
振動ジャイロ, 15

す

スペクトル解析, 28

せ

正方向処理, 6

そ

双方向処理, 6

た

対称 FIR 型のフィルタ, 8
対称 FIR フィルタリング出力の有効範囲, 35

ち

遅延時間, 5

kisoya-iwasaki.com

て

デトレンドフィルタ, 12

と

ドプラ信号の復調, 18
トレンド除去, 12
トレンドの抽出, 12
トレンドフィルタ, 12

な

ナイキスト周波数, 10

に

入力データの読込, 27
任意周波数応答（利得＆位相）フィルタ, 21
任意周波数応答フィルタ, 18, 21
任意の利得と位相を持つ FIR 型フィルタ, 1, 8

ひ

光ジャイロ, 15

ふ

ファイルの保存・読込, 36
フィルタの選択と作成手順, 10
フィルタリング計算とインパルス応答, 35

ろ

ローカット付１回積分フィルタ, 2
ローカット付２回積分フィルタ, 2

iwasaki-soft.com

以下では、**岩崎ソフト**製ディジタルフィルタ作成ソフトウェア「**ExpWave-FIR**」の使用許諾に関する条件を定めています。
当該ソフトウェアを使用する前に以下をご一読頂きますようお願いします。
尚、お客様が当該ソフトウェアを使用した時点で、お客様が以下の条件に同意したものとみなします。

ソフトウェア使用許諾契約書

本契約は、お客様(以下「使用者」といいます)と岩崎ソフトとの間における許諾ソフトウェアの使用許諾に関する条件を規定しています。なお、「**許諾ソフトウェア**」とは、岩崎ソフト製ディジタルフィルタ作成ソフトウェア「ExpWave-FIR」を意味します。

第 1 条(総則)
許諾ソフトウェアは、日本国内外の著作権法並びに著作者の権利及びこれに隣接する権利に関する諸条約その他知的財産権に関する法律によって保護されています。許諾ソフトウェアは、本契約の条件に従い岩崎ソフトから使用者に対して使用許諾されるもので、許諾ソフトウェアの著作権等の知的財産権は使用者に移転致しません。

第 2 条(許諾ソフトウェアの使用権)
1.岩崎ソフトは、許諾ソフトウェアの日本国内における非独占的な使用権を使用者に許諾します。
2.前項に定める使用権とは、使用者が許諾ソフトウェアである「ExpWave-FIR」を1台のパソコンにインストールの上、この1台のパソコンを用いて、許諾ソフトウェアを使用する権利をいいます。

第 3 条(許諾ソフトウェアの許諾条件)
1.使用者は、許諾ソフトウェアの一部又は全部を複製、複写若しくは修正、追加等の改変をすることができないものとします。
2.使用者は、許諾ソフトウェアを日本国外に輸出又は移送してはならないものとします。
3.使用者は、許諾ソフトウェアに関し、リバースエンジニアリング、逆アセンブル、逆コンパイル等のソースコード解析作業を行ってはならないものとします。
4.使用者は、許諾ソフトウェアを再使用許諾、貸与又はリースその他の方法で第三者に使用させてはならないものとします。
5.使用者は、許諾ソフトウェアを第三者に譲渡することができないものとします。
6.許諾ソフトウェアの販売を妨害しないため、使用者は、許諾ソフトウェアにより出力されるディジタルフィルタの係数値(プログラムソースコードに含まれる係数値も含む)の全部または一部を第三者に知らせたり、書籍、雑誌、インターネット等で公開したりしてはならないものとします。**注(1)**
7.使用者は、項目 1～6 の許諾条件を守るために、適正に管理するものとします。

第 4 条(許諾ソフトウェアの権利)
許諾ソフトウェアに関する著作権等一切の権利は、岩崎ソフトに帰属するものとし、使用者は、許諾ソフトウェアに関して本契約に基づき許諾された使用権以外の権利を有しないものとします。

第 5 条(無保証)
許諾ソフトウェアは、現状有姿で岩崎ソフトから使用者に対して提供されるものとし、岩崎ソフトは、使用者に対して、エラー・バグ等の不具合がないこと、中断なく稼動すること、有用であること、使用者の利用目的に合致していること等を含め、許諾ソフトウェアに関し明示であると黙示であることを問わず何らの保証も行わないものとします。

第 6 条(岩崎ソフトの免責)
許諾ソフトウェア(全ての構成部分、媒体、電子文書、マニュアル等の関連書類を含みます)に関連して使用者又は第三者に生じた損害に対して、岩崎ソフトは、何らの責任も負わないものとします。

第 7 条(第三者に対する責任)
使用者が許諾ソフトウェアを使用することにより、第三者との間で著作権、特許権その他の知的財産権の侵害を理由として紛争が生じた場合、使用者自身が自らの費用で解決するものとし、岩崎ソフトに一切の迷惑をかけないものとします。

iwasakisoft.com

第 8 条(契約解除)
1.岩崎ソフトは、使用者において次の各号に該当する事由が生じた場合、直ちに本契約を解除し、又はそれによって蒙った損害の賠償を使用者に対し請求できるものとします。
(1)本契約に定める条項に違反したとき。
(2)差押、仮差押、仮処分その他強制執行の申立を受けたとき。
2.本契約解除後とも、第 1 条、第 4 条～第 10 条の規定は、有効に存続するものとします。

第 9(条許諾ソフトウェアの廃棄)
前条の規定により本契約が終了した場合、使用者は、直ちに許諾ソフトウェアの使用を中止し、許諾ソフトウェアの全てを廃棄するか、岩崎ソフトに対して返還するものとします。
岩崎ソフトが要求した場合、使用者は許諾ソフトウェアを廃棄した旨を証明する文書を岩崎ソフトに差し入れるものとします。

第 10 条(その他)
1.本契約の一部の条項が法律によって無効となった場合でも、当該条項以外は有効に存続するものとします。
2.本契約の準拠法は、日本国の法律とします。
3.本契約に定めなき事項若しくは本契約の解釈に疑義を生じた場合には、岩崎ソフト及び使用者は誠意をもって協議し、解決するものとします。

注(1):フィルタの係数値を含まない周波数応答特性図、処理結果等を第三者に知らせること及び書籍、雑誌、インターネット等での公開は、この限りではありません。また、フィルタの係数値が明示的に示されないコンパイルされたコードで埋め込まれた機器の販売もこの限りではありません。

非売品
岩崎ソフト

http://iwasakisoft.com

〒236-0005
横浜市金沢区並木 2-4-3-206
2010 年 10 月
電話：045-785-1156

E-mail: expwave@iwasakisoft.com